



**Escola de Camins**

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports  
UPC BARCELONATECH

# Estudio mediante modelización de las posibles actuaciones en el Park & Ride de Mollet Sant Fost para mejorar la movilidad del Vallés Oriental

Trabajo realizado por:

**Carles Illera López**

Dirigido por:

**Benedicto Lizcano Núñez**

Máster en:

**Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos**

Barcelona, 23 de Junio de 2016

*Departamento de Infraestructura del  
Transporte y Territorio*

**TRABAJO FINAL DE MÁSTER**



# *Agradecimientos*

---

Este proyecto no hubiese sido posible sin la ayuda de Benedicto Lizcano, tutor de la tesis y a Josep Maria Aymamí, gran soporte del trabajo. Muchas gracias por el esfuerzo y el tiempo dedicado en la realización de este proyecto que espero que a vosotros también os haya llegado a interesar y entretener tanto como a mí.

A nivel personal, muchas gracias a mis padres y a mi pareja que durante estos años de carrera han sido un importante apoyo. No olvidar a mis todos mis compañeros de trabajo en TSS, en especial a Dimitrios Triantafyllos, un gran ejemplo a nivel profesional y personal.

# Abstract

---

In recent years the problem of traffic congestion is spreading in many large urban areas. According to the Texas Transportation Institute (TTI, 2009), the average American driver lost 36 hours in 2007 sitting in congestion, wasting an average of 24 gallons of fuel. The average losses per driver in cities where the population exceeded one million were 25% higher. These costs were quantified into a national productivity loss of \$87.2 billion, a four-fold increase (in 2007 dollars) from 1982. Although the recent economic downturn has only delayed congestion growth, once the economy recovers, congestion once again will be on the rise.

Traditionally to reduce the impacts of traffic congestion over the past decades, governments are introducing policies that favour the rational use of private vehicles and prioritize public transport (push & pull). Among several attempts of mobility policies that have been implemented, park and ride has shown outstanding performance especially within European Union nations. By offering new efficient facilities and improving the level of service of public transport passengers are aiming to increase accessibility and decrease the usage of private vehicles, postulating as performances of great success, as his experience in different European cities tested.

The Metropolitan Transportation Authority of Catalonia (ATM) has wagered on these systems with the objective of deterring the daily traffic congestion produced on the highways of Catalonia, especially in corridors towards Barcelona. To date, the Metropolitan Region of Barcelona numbers 14.114 parking spaces which are spread over 98 railway stations. The objective of this study is to address the potential improvements of an existing Park & Ride facility located in Mollet Sant Fost. The strategic role of this station, which is located between the highways AP-7, C-59, C-33 and C-17 with the required improvements could attract up to 55.000 new users of the rail network from neighbouring cities.

To evaluate the impacts of the current study, it was build a traffic model of the Metropolitan Region of Barcelona. This will help to analyse the existing users' equilibrium of their daily displacements. Based on a Multinomial Logit demand model, it will be analysed the number of rail passengers attracted by designing these facilities following the implementation of various actions that potentializing their use.

# Índice:

---

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Marco y objetivos .....	1
1.2 Enfoque metodológico.....	1
1.3 Estructura del Trabajo Final de Máster .....	2
<b>2. Movilidad desde el Vallés Oriental .....</b>	<b>4</b>
2.1 Movilidad de los residentes. Dinámicas territoriales .....	4
2.1.1 Desplazamientos de conexión.....	5
2.1.2 Reparto modal .....	6
2.2 Desplazamientos intercomarcales predominantes .....	7
2.2.1 Conexión entre Vallés Oriental y Occidental.....	7
2.2.1.1 Conexión viaria, la AP-7. ....	7
2.2.1.2 Conexión ferroviaria, R8. Deficiencia de la red .....	8
2.2.2 Conexión entre Vallés Oriental y el Barcelonés .....	9
2.2.2.1 Modo viario, congestión en las entradas a Barcelona.....	9
2.2.2.2 Conexión ferroviaria. ....	11
<b>3. Congestión en los corredores de estudio .....</b>	<b>13</b>
3.1. Escenario actual .....	13
3.1.1 Velocidad media por corredor como indicador .....	14
3.1.2 Evaluación de congestión a nivel de red viaria y usuario.....	15
3.2 Previsión futura.....	17
3.2.1 Previsión siguiendo el modelo actual.....	17
3.2.2 Posible escenario futuro: Pricing en las entradas Barcelona .....	18
3.3 Planes de actuación para combatir la congestión .....	19

## **4. Propuesta de actuación – Park & Ride .....21**

4.1 Concepto de aparcamientos disuasorios (Park & Ride) .....	21
4.2 Elección de la estación .....	21
4.2.1 Granollers Centro .....	22
4.2.2 Montmeló .....	23
4.2.3 Mollet – Sant Fost.....	24
4.2.4 Elección.....	24
4.3 Análisis detallado de la potencialidad del P&R en Mollet Sant Fost .....	25
4.3.1 Estado actual del aparcamiento disuasorio .....	26
4.3.2 Generación/Atracción de demanda .....	27
4.3.2.1 Zonas con potencial .....	27
4.3.2.2 Intermodalidad Actual .....	29
4.3.2.3 Deficiencias actuales.....	30
4.3.3 Accesos viarios a la estación. Necesidad de optimización .....	31

## **5. Simulación de tráfico .....32**

5.1 Introducción .....	32
5.2 Aplicaciones de simuladores de tráfico .....	33
5.3 Modelización según el nivel de detalle.....	34
5.3.1 Modelos macroscópicos: .....	34
5.3.2 Modelos microscópicos: .....	36
5.3.3 Cuadro comparativo: .....	37
5.4 Aimsun: Software de simulación de tráfico .....	38
5.5 Generación del modelo. Inputs requeridos .....	39
5.5.1 Importación de la geometría (OSM).....	39
5.5.2 Importación de la demanda. Colaboración con ATM .....	40
5.5.3 Interacción entre modelo y demanda .....	41
5.6 Heurística del estudio mediante simulación .....	42

## **6. Calibración de la RMB. Estudio MACRO .....42**

6.1 Objetivos .....	43
6.2 Fundamentos matemáticos de la simulación Macro.....	44
6.3 Hipótesis y simplificaciones asumidas .....	45
6.3.1 Simplificación de la geometría .....	45
6.3.2 Hipótesis sobre la matriz de demanda original.....	47
6.4 Calibración de la red .....	52
6.4.1 Funciones de costes utilizadas .....	52
6.4.2 Datos de referencia para calibración .....	53
6.4.3 Escenario y Experimento de 24 horas .....	54
6.4.4 Resultados .....	55
6.5 Asignación estática de vehículos para la hora punta .....	56
6.5.1. Escenario y Experimento para la hora pico .....	56
6.5.2 Resultados .....	57

## **7. Estado actual y actuaciones sobre la zona de estudio .....58**

7.1. Generación de subred de estudio.....	58
7.1.1 Definición de los límites de la subred .....	58
7.1.2. Generación Transversal Estática .....	59
7.2 Competitividad actual entre modos .....	60
7.2.1 Relación Vallés Oriental y Vallés Occidental .....	60
7.2.2 Relación Vallés Oriental y Barcelonés .....	63
7.3 Estado actual del P&R en Mollet Sant Fost .....	65
7.3.1 Capacidad y ocupación media del aparcamiento actual.....	65
7.3.2 Características de los usuarios .....	67
7.3.3 Demanda horaria.....	68
7.3.4 Zona de ampliación .....	69
7.3.5 Introducción del P&R actual en Aimsun.....	70

7.4 Modelo <i>LOGIT MULTINOMIAL</i> de atracción de demanda.....	71
7.4.1 Teoría del modelo Logit Multinomial .....	71
7.4.2 Creación y calibración de funciones de utilidad para cada modo .....	72
7.5 Actuaciones.....	75
7.5.1 Mejora de accesos a la estación.....	76
7.5.2 Mejoras en los niveles de servicio de RENFE cercanías .....	86
7.5.3 Mejoras en la infraestructura viaria e instalaciones .....	91
<b>8. Ejecución de un Plan de Actuaciones .....</b>	<b>97</b>
8.1 Objetivos .....	97
8.2 Programa de actuaciones .....	98
8.3 Nuevos tiempos de viaje.....	99
8.3.1 Variación en la relación Vallés Oriental - Barcelonés.....	99
8.3.2 Variación en la relación Vallés Oriental – Vallés Occidental .....	101
8.4 Reparto modal tras Plan de Actuaciones.....	103
8.4.1 Equilibrio en la relación Vallés Oriental – Barcelonés.....	103
8.4.2 Equilibrio en la relación Vallés Oriental – Vallés Occidental.....	105
8.5 Atracción generada sobre el vehículo privado .....	107
8.6 Dimensionamiento del aparcamiento .....	109
8.6.1 Capacidad .....	109
8.6.2 Diseño adoptado .....	110
<b>9. Conclusiones y trabajos futuros.....</b>	<b>111</b>
9.1 Conclusiones .....	111
9.2 Trabajos futuros.....	113
<b>10. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>114</b>
<b>11. Bibliografía complementaria .....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXOS</b>	



# Acrónimos utilizados

---

AT:	Tiempo de acceso
ATM:	Autoridad del Transporte Metropolitano
EMO:	Encuesta de Movilidad Obligada
EMEF:	Encuesta de Movilidad en Día Laborable
FGC:	Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya
FHP:	Factor Hora Punta
IMD:	Intensidad Media Diaria
IVTT:	Tiempo en el interior del vehículo
JPF:	Junction Penalty Function
MNL:	Multinomial Logit
O/D:	Origen/Destino
P&R:	Park & Ride
PITC:	Plan de Infraestructuras de Catalunya
PTVC:	Plan de Transporte de Viajeros de Catalunya
RMB:	Región Metropolitana de Barcelona
RACC:	Real Automóvil Club de Catalunya
TP:	Transporte Público
TPF:	Turning Penalty Function
TTV:	Tiempo Total de Viaje
VCM:	Vías de Congestión Metropolitanas
VDF:	Volume Delay Function
VTPL:	Victoria Transport Policy Institute
WT:	Tiempo de espera

# Listado de imágenes

---

IMAGEN 1.- DISTRIBUCIÓN DE DESPLAZAMIENTOS DE LOS RESIDENTES DEL VALLÉS ORIENTAL (FUENTE: EMQ 2006, ATM).....	4
IMAGEN 2. – FLUJOS DE CONEXIÓN INTERCOMARCALES EN DÍA LABORABLE (FUENTE: EMQ 2006, ATM) .....	5
IMAGEN 3.- REPARTO MODAL EN DÍA LABORABLE DE LOS DESPLAZAMIENTOS CON ORIGEN EN EL VALLÉS ORIENTAL .....	6
IMAGEN 4.- INTENSIDAD MEDIA DIARIA POR TRAMOS EN LA AP-7, RESULTADOS DE 2011 (FUENTE: MINISTERIO DE FOMENTO) .	7
IMAGEN 5. – LÍNEA R8 DE CERCANÍAS (FUENTE: CERCANÍAS RENFE) .....	8
IMAGEN 6.- TARIFACIÓN DE LA C-33 EN EL PEAJE DE MOLLET (FONT: ABERTIS AUTOPISTAS) .....	9
IMAGEN 7.- COMPARATIVA DE LA EVOLUCIÓN DE LA INTENSIDAD MEDIA DIARIA (IMD) PARA LA C-17 Y LA C-33 .....	10
IMAGEN 8.- COMPARATIVA ENTRE LOS CORREDORES DE LA C-33 Y LA C-17 CON LA COMBINACIÓN AP-7 Y C-58 .....	10
IMAGEN 9.- ESQUEMA DE LA LÍNEA R2 (FUENTE: CERCANÍAS RENFE) .....	12
IMAGEN 10.- VÍAS DE CONGESTIÓN METROPOLITANAS, VCM (FUENTE: RACC) .....	13
IMAGEN 11.- MAPA DE VELOCIDADES (KM/H) DE CIRCULACIÓN EN LAS VCM A LAS 8:30H (FUENTE: RACC) .....	14
IMAGEN 12.- EVOLUCIÓN DE LA CONGESTIÓN EN LAS GRANDES CIUDADES ESPAÑOLAS (FUENTE: INRIX).....	17
IMAGEN 13.- LOCALIZACIÓN DE LOS PÓRTICOS DE ACCESO A BARCELONA SIGUIENDO UNA ESTRATEGIA DE PRICING. ESTUDIO PARA REDUCIR LA CONGESTIÓN EN LOS ACCESOS BARCELONA (FUENTE: MARC VERGÉ [4]) .....	18
IMAGEN 14.- IMPACTO CON EL TIEMPO DE MEDIDAS PARA PALIAR LA CONGESTIÓN (FUENTE: VTPL Y ELABORACIÓN PROPIA).....	19
IMAGEN 15.- ESTACIONES CON SERVICIO AL VALLÉS OCCIDENTAL Y AL BARCELONÉS.....	22
IMAGEN 16.- IMAGEN AÉREA DE LAS ZONAS DE INFLUENCIA A LA ESTACIÓN DE MONTMELÓ.....	23
IMAGEN 17.- SITUACIÓN DE MOLLET EN EL ENTORNO GEOMORFOLÓGICO DE CATALUÑA .....	25
IMAGEN 18.- IMAGEN AÉREA DEL APARCAMIENTO DISUASORIO DE LA ESTACIÓN DE MOLLET SANT FOST .....	26
IMAGEN 19.- PRINCIPALES EJES VIARIOS DE SALIDA Y ACCESO A MOLLET (FUENTE: AYTO. MOLLET DEL VALLÉS).....	27
IMAGEN 20.- MUNICIPIOS CON POTENCIAL PARA UTILIZAR EL PARK & RIDE EN MOLLET SANT FOST .....	28
IMAGEN 21.- RUTA ACTUAL PARA ACCEDER A LA ESTACIÓN DE MOLLET SANT FOST.....	31
IMAGEN 22.- DIFERENTES NIVELES DE MODELIZACIÓN (FUENTE: AIMSUN) .....	34
IMAGEN 23.- ARAÑA DE TRÁFICO EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE LEICESTER .....	35
IMAGEN 24.- EJEMPLO DE MICROSIMULACIÓN (FUENTE: AIMSUN) .....	36
IMAGEN 25.- SIMULACIÓN EJEMPLO A NIVEL MICROSCÓPICO REALIZADA CON AIMSUN (FUENTE: AIMSUN).....	38
IMAGEN 26.- ÁREA DE IMPORTACIÓN PARA EL PRESENTE ESTUDIO REPRESENTANDO LA RMB .....	39
IMAGEN 27.- RED DE CENTROIDES DE LA RMB. IMPORTACIÓN DE ARCHIVO SHAPEFILE A AIMSUN.....	40

IMAGEN 28.- INTRODUCCIÓN DE CONEXIONES ENTRE LA GEOMETRÍA Y LOS CENTROIDES DEL MODELO.....	41
IMAGEN 29.- IMAGEN AÉREA DE BARCELONA TRAS LA IMPORTACIÓN INICIAL, MODELO PORMENORIZADO .....	45
IMAGEN 30.- IMAGEN AÉREA DE BARCELONA TRAS LA SIMPLIFICACIÓN DE LA RED DE CARRETERAS.....	46
IMAGEN 31.- OCUPACIÓN MEDIA DE LOS MODOS MOTORIZADOS PRIVADOS .....	47
IMAGEN 32.- FACTOR HORA PUNTA (FHP) CALCULADO PARA LAS DIFERENTES COMARCAS DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	49
IMAGEN 33.- EJEMPLO EVOLUCIÓN DE LOS COSTES DE LA VDF PARA SECCIÓN CAN CAPACIDAD IGUAL A 2000 VEH/H .....	52
IMAGEN 34.- MATRICES DE DEMANDA UTILIZADAS PARA LA ASIGNACIÓN ESTÁTICA EN HORA PUNTA.....	56
IMAGEN 35.- RESULTADOS DE LA ASIGNACIÓN ESTÁTICA DE VEHÍCULOS EN HORA PUNTA.....	57
IMAGEN 36.- ÁREA DEFINIDA PARA LA SUBRED DE ESTUDIO .....	58
IMAGEN 37.- DEFINICIÓN DE SUBRED Y SU CORRESPONDIENTE CONFIGURACIÓN DE CENTROIDES NUEVA.....	59
IMAGEN 38.- IMAGEN DEL P&R ACTUAL MOSTRANDO SU ALTA OCUPACIÓN ACTUAL .....	66
IMAGEN 39.- IMAGEN 3D DE LA ZONA DE AMPLIACIÓN DEL P&R .....	69
IMAGEN 40.- INTRODUCCIÓN DEL P&R EN AIMSUN. COMPARATIVA ENTRE LA REALIDAD Y EL MODELO.....	70
<i>IMAGEN 41.- IMAGEN AÉREA DE LA ZONA DE ESTUDIO CON TAL DE ANALIZAR LAS POSIBLES ALTERNATIVAS EN LA MEJORA DE LOS ACCESOS AL P&amp;R DE MOLLET SANT FOST .....</i>	<i>77</i>
IMAGEN 42.- SITUACIÓN OROGRÁFICA DE LA ZONA DONDE SE EJECUTARÁN LAS MEJORAS EN LOS ACCESOS .....	78
IMAGEN 43.- INTRODUCCIÓN EN AIMSUN DE LA MEJORA EN LOS ACCESOS.....	79
IMAGEN 44.- NUEVOS TIEMPOS DE ACCESO AL P&R DE MOLLET SANT FOST .....	80
IMAGEN 45.- TRAZADO DEFINIDO PARA LA NUEVA LÍNEA ORBITAL .....	92
IMAGEN 46.- PROPUESTA DE AMPLIACIÓN DE LA R8 PARA SATISFACER EL PROYECTO DE LA LÍNEA ORBITAL .....	94
IMAGEN 47.- DISEÑO ESTABLECIDO PARA LA AMPLIACIÓN DEL P&R EN LA ESTACIÓN DE MOLLET SANT FOST .....	110

# Listado de tablas

---

TABLA 1.- ELECCIÓN DE ESTACIÓN A PARTIR DE SUS POTENCIALIDADES Y LIMITACIONES .....	24
TABLA 2.- ESTIMACIÓN DE LA MOVILIDAD ACTUAL ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ESTUDIO Y LA ESTACIÓN DE MOLLET SANT FOST....	29
TABLA 3.- ANÁLISIS DE LOS TIEMPOS DE ACCESO ACTUALES AL ESTACIONAMIENTO DISUASORIO Y COMPARATIVA CON LOS TIEMPOS DE VIAJES TOTALES A BARCELONA EN TRANSPORTE PÚBLICO Y EN VEHÍCULO PRIVADO .....	30
TABLA 4.- VARIACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES SI TENEMOS EN CUENTA LA OCUPACIÓN MEDIA DE LOS VEHÍCULOS ....	47
TABLA 5.- IMD UTILIZADAS PARA LA CALIBRACIÓN DEL MODELO MACROSCÓPICO DE LA RMB .....	54
TABLA 6.- REPARTO MODAL ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ESTUDIO Y PRINCIPALES FOCOS DE DEMANDA DEL V. OCCIDENTAL .....	60
TABLA 7.- COMPARATIVA ENTRE TIEMPOS DE VIAJE PARA LOS DIFERENTES MODOS Y CADA UNA DE LAS RELACIONES ESTUDIADAS.	62
TABLA 8.- REPARTO MODAL ACTUAL ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ESTUDIO Y LOS PRINCIPALES FOCOS DE DEMANDA DE BARCELONA	63
TABLA 9.- COMPARATIVA ENTRE TIEMPOS DE VIAJE PARA CADA MODO Y PARA CADA UNA DE LAS RELACIONES DE BARCELONA ....	64
TABLA 10.- REPARTO DE LA DEMANDA CON DESTINO AL APARCAMIENTO DISUASORIO SEGÚN MUNICIPIO DE ORIGEN .....	67
TABLA 11.- ESCENARIO ACTUAL DE REPARTO MODAL Y TIEMPO DE VIAJE EN LA RELACIÓN MOLLET - MERIDIANA.....	73
TABLA 12.- NUEVOS TIEMPOS DE VIAJE EN LAS RELACIONES CON EL VALLÉS OCCIDENTAL (ACTUACIÓN 1).....	80
TABLA 13.- NUEVOS TIEMPOS DE VIAJE EN LAS RELACIONES CON EL BARCELONÉS (ACTUACIÓN 1).....	80
TABLA 14.- VALORES DE UTILIDAD DEL FERROCARRIL UNA VEZ APLICADA LA MEJORA EN LOS NIVELES DE ACCESIBILIDAD .....	82
TABLA 15.- VALORES DE UTILIDAD DEL COCHE UNA VEZ APLICADA LA MEJORA EN LOS NIVELES DE ACCESIBILIDAD.....	82
TABLA 16.- REPARTO MODAL TRAS ACTUACIÓN 1 Y ATRACCIÓN GENERADA SOBRE EL VEHÍCULO PRIVADO .....	83
TABLA 17.- VOLUMEN DE USUARIOS ATRAÍDOS AL FERROCARRIL DESDE EL COCHE COMO CONSECUENCIA DE LA ACTUACIÓN 1 ....	84
TABLA 18.- TABLA RESUMEN MOSTRANDO LA ATRACCIÓN GENERADA POR LA ACTUACIÓN 1 .....	84
TABLA 19.- VOLUMEN DE USUARIOS ATRAÍDOS AL FERROCARRIL DESDE EL AUTOBÚS COMO CONSECUENCIA DE LA ACTUACIÓN 1	85
TABLA 20.- ATRACCIÓN GENERADA POR LA ACTUACIÓN 1 SOBRE EL AUTOBÚS.....	86
TABLA 21.- PRINCIPIOS DE LA ACTUACIÓN 2, AUMENTO DE LA FRECUENCIA DE TRENES .....	86
TABLA 22.- NUEVOS TIEMPOS DE VIAJE EN LAS RELACIONES CON EL BARCELONÉS (ACTUACIÓN 2).....	87
TABLA 23.- NUEVOS TIEMPOS DE VIAJE EN LAS RELACIONES CON EL VALLÉS OCCIDENTAL (ACTUACIÓN 2).....	87
TABLA 24.- VALORES DE UTILIDAD DEL FERROCARRIL UNA VEZ APLICADO EL AUMENTO DE FRECUENCIA EN CADA LÍNEA.....	88
TABLA 25.- VALORES DE UTILIDAD DEL COCHE UNA VEZ APLICADO EL AUMENTO DE FRECUENCIA EN CADA LÍNEA .....	89
TABLA 26.- REPARTO MODAL TRAS ACTUACIÓN 2 Y ATRACCIÓN GENERADA SOBRE EL VEHÍCULO PRIVADO .....	89
TABLA 27.- VOLUMEN DE USUARIOS ATRAÍDOS AL FERROCARRIL DESDE EL COCHE COMO CONSECUENCIA DE LA ACTUACIÓN 2 ....	90

TABLA 28.- TABLA RESUMEN MOSTRANDO LA ATRACCIÓN GENERADA POR LA ACTUACIÓN 2 .....	90
TABLA 29.- NUEVOS TIEMPOS DE VIAJE EN LA RELACIÓN VALLÉS ORIENTAL/SABADELL-TERRASSA .....	95
TABLA 30.- VALORES DE UTILIDAD PARA CADA MODO UNA VEZ APLICADA LA ACTUACIÓN 3.....	96
TABLA 31.- NUEVO REPARTO MODAL TRAS ACTUACIÓN 3.....	96
TABLA 32.- ATRACCIÓN DE USUARIOS EN HORA PUNTA DEBIDO A LA CREACIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE BELLAVISTA .....	96
TABLA 33.- TIEMPOS DE VIAJE EN LA RELACIÓN VALLÉS ORIENTAL-BARCELONÉS TRAS PLAN DE ACTUACIONES.....	99
TABLA 34.- TIEMPOS DE VIAJE EN LA RELACIÓN VALLÉS ORIENTAL-VALLÉS OCCIDENTAL TRAS PLAN DE ACTUACIONES.....	101
TABLA 35.- NUEVA DISTRIBUCIÓN DE REPARTOS MODALES SOBRE LA R2 TRAS PLAN DE ACTUACIONES.....	103
TABLA 36.- NUEVA DISTRIBUCIÓN DE REPARTOS MODALES SOBRE LA R8 TRAS PLAN DE ACTUACIONES.....	105
TABLA 37.- VOLUMEN DE USUARIOS ATRAÍDOS AL TREN DESDE EL VEHÍCULO PRIVADO TRAS PLAN DE ACTUACIONES.....	107
TABLA 38.-VOLUMEN DE USUARIOS ATRAÍDOS DESDE EL AUTOBÚS AL FERROCARRIL TRAS PLAN DE ACTUACIONES .....	108
TABLA 39.- RESUMEN DE LA ATRACCIÓN GENERADA POR EL PLAN DE ACTUACIONES.....	108

# Listado de gráficos

---

GRÁFICO 1.- EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE TOTAL DE USUARIOS POR AÑO PARA LAS PRINCIPALES LÍNEAS DE RENFE CERCANÍAS BARCELONA .....	11
GRÁFICO 2.- DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL TIEMPO PERDIDO SEGÚN ESTRUCTURA FUNCIONAL (FUENTE: RACC).....	15
GRÁFICO 3.- TIEMPO PERDIDO POR VÍA AL DÍA (HORAS/DÍA) (FUENTE: RACC) .....	15
GRÁFICO 4.- TIEMPO MEDIO PERDIDO POR USUARIO Y CORREDOR AL DÍA (A LA IZQUIERDA EN MINUTOS/DÍA Y A LA DERECHA EN MINUTOS/AÑO) (FUENTE: RACC) .....	16
GRÁFICO 5.- DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LOS DESPLAZAMIENTOS (EN MILLARES) SEGÚN MOTIVO EN EL V. ORIENTAL (FUENTE: EMO 2006).....	48
GRÁFICO 6.- COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y LOS DATOS DE REFERENCIA PARA LA CALIBRACIÓN.....	55
GRÁFICO 7.- EVOLUCIÓN HORARIA DE LA DEMANDA DE ENTRADA Y SALIDA DEL P&R.....	68
GRÁFICO 8.- EVOLUCIÓN DEL REPARTO MODAL EN LA RELACIÓN MOLLET – BARCELONA SAGRERA SEGÚN EL TIEMPO DE VIAJE DEL TREN RESPECTO EL COCHE SEGÚN EL MODELO MULTINOMIAL LOGIT GENERADO.....	74
GRÁFICO 9.- ESTIMACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA ATRACCIÓN AL FERROCARRIL EN LA RELACIÓN SABADELL-TERRASSA SEGÚN EL NIVEL DE SERVICIO PRESTADO POR LA R8.....	102

# 1. Introducción

---

## 1.1 Marco y objetivos

En los últimos años, los problemas de congestión se han generalizado en la mayoría de las grandes ciudades del mundo. Con tal de reducir los inconvenientes que comporta este tipo de situaciones, se han llevado a cabo políticas que favorecen un uso racional del automóvil y que priorizan el transporte público en los desplazamientos cotidianos.

Una de las actuaciones más destacadas en las políticas de movilidad en el conjunto de la Unión Europea ha sido la potencialización de los aparcamientos disuasorios, también conocidos como Park & Ride. Estos ofrecen grandes facilidades en la reducción del uso del vehículo privado y se postulan como actuaciones de gran éxito, tal y como su experiencia en diferentes ciudades europeas ha probado.

La Autoridad del Transporte Metropolitano, la ATM, también ha apostado por estos sistemas con el objetivo de disuadir la congestión diaria producida en la red de carreteras de Cataluña, especialmente en los corredores de entrada a Barcelona. A fecha de hoy, en el conjunto de la Región Metropolitana de Barcelona existen 14.114 plazas de aparcamiento en Park & Ride repartidas en 98 estaciones.

El presente proyecto trata de demostrar la potencialización que tienen estas actuaciones para combatir los problemas de congestión actuales que sufren los usuarios con origen en el Vallés Oriental. El estudio se desarrolla sobre una localización que permita la creación de un estacionamiento disuasorio y que a priori disponga de una posible área de atracción del vehículo privado. Así, los usuarios de esta región que actualmente se vean afectados por problemas de congestión podrán ser atraídos al ferrocarril tras realizar una transferencia en el Park & Ride.

## 1.2 Enfoque metodológico

Para alcanzar el objetivo de demostrar el gran potencial de atracción de usuarios del vehículo privado que puede tener un aparcamiento disuasorio en el Vallés Oriental, debe generarse inicialmente una correcta caracterización de los niveles de demanda y de congestión de los usuarios con origen en esta comarca.

Para ello, la metodología utilizada para este estudio se basa en el uso de herramientas modelísticas que permiten la generación de un modelo que reproduzca el equilibrio de demanda actual y los problemas típicos de tráfico en el conjunto de carreteras de la RMB.

Aimsun es la herramienta a utilizar ya que proporciona en un mismo software dos de las teorías que van a ser empleadas, la macroscópica y la microscópica.

El primer nivel, el macroscópico, es utilizado con el objetivo de representar el estado actual de la red de carreteras de la RMB para que, bajo las condiciones actuales de demanda en hora punta, permita simular los problemas de congestión generados en el día tipo.

Posteriormente, con tal de evaluar el nuevo reparto modal tras cada una de las actuaciones propuestas, el presente estudio presenta un modelo Logit Multinomial (MNL) de elección modal. El objetivo es estimar el comportamiento de los usuarios ante mejoras en los servicios del ferrocarril, permitiendo cuantificar el nuevo equilibrio generado en la red.

Por último, y en caso de obtener resultados que demuestren la potencialidad real del Park & Ride, se procederá a la generación de un Plan de Actuaciones que recoja el conjunto de mejoras que permitan la atracción de gran parte de los usuarios del vehículo privado, cuantificando el número y procediendo al dimensionamiento del aparcamiento disuasorio final. Para analizar su efectividad y visualizar el nuevo equilibrio producido en la red viaria, se utilizará la microsimulación sobre el área de atracción y la zona próxima al aparcamiento.

## 1.3 Estructura del Trabajo Final de Máster

Introducidos los aspectos que motivan la realización de este estudio y el enfoque con el que se pretende realizar, se esquematiza a continuación la estructura que adopta el presente Trabajo Final de Máster.

Como se ha visto, el proyecto se sustenta sobre la base de mejorar la movilidad actual de Vallés Oriental en los periodos que existe congestión. Para ello se aplican políticas que favorecen la utilización de los aparcamientos disuasorios permitiendo a los usuarios ahorrarse tiempo de viaje. Por ello, se caracteriza previamente la movilidad con origen en esta comarca, localizando los principales flujos de conexión entre municipios.

Posteriormente se estudia la existencia o no de congestión en aquellos flujos de mayor demanda, analizando si realmente existe un problema de movilidad, y en caso afirmativo generando propuestas que permitan la transferencia de usuarios del vehículo privado al transporte público.



Analizadas individualmente cada una de las actuaciones se genera un Plan de Actuación con el conjunto de propuestas realizadas. El objetivo de este, es analizar los efectos de atracción sobre demanda del vehículo privado que se podrían llegar a conseguir tras llevar a cabo un conjunto de mejoras que faciliten la transferencia al transporte público.

Llegados a una estimación de demanda según el modelo MNL creado, se procede al análisis microscópico del aparcamiento permitiendo analizar las consecuencias locales que el Plan de Actuaciones generaría, no únicamente analizando en nuevo diseño del aparcamiento disuasorio con su ampliación, sino también los flujos generados en las zonas de acceso al aparcamiento como consecuencia de la atracción modal ocurrida.

## 2. Movilidad desde el Vallés Oriental

Para comenzar el estudio, es primordial entender los niveles de movilidad existentes en Vallés Oriental. Puesto que el objetivo del presente trabajo es atraer usuarios a los servicios actuales de ferrocarril, debe entenderse el comportamiento de los residentes de la zona e interiorizarlo en base de nuestro proyecto.

Los datos que se van a tener en cuenta provienen generalmente de la Encuesta de Movilidad Cuotidiana (EMQ) de 2006, siendo complementados por la Encuesta de Movilidad en Día Laborable (EMEF) de 2014 y las estadísticas generadas por el departamento de movilidad del ayuntamiento de Barcelona.

### 2.1 Movilidad de los residentes. Dinámicas territoriales

Siguiendo la documentación generada por la ATM, el número total de desplazamientos generados en el Vallés Oriental en un día laborable es de 1.241.549, repartidos entre los 327.992 habitantes que realizan, por lo menos, algún desplazamiento (población móvil).

No obstante, si queremos analizar todos los desplazamientos que tienen incidencia en el territorio de estudio, debemos añadir aquellos viajes producidos en él y que son generados por no residentes de la zona. Así pues, el número total de desplazamientos diarios aumenta hasta 1.384.168.

Estos desplazamientos pueden clasificarse en dos tipos: viajes internos dentro de la comarca (siendo un total de 1.013.087, representando un 73,2% del total); o viajes de conexión entre el Vallés Oriental y el resto de Cataluña (con 371.081 viajes diarios, el 26,8%); Gráficamente estos datos pueden observarse en la figura siguiente:

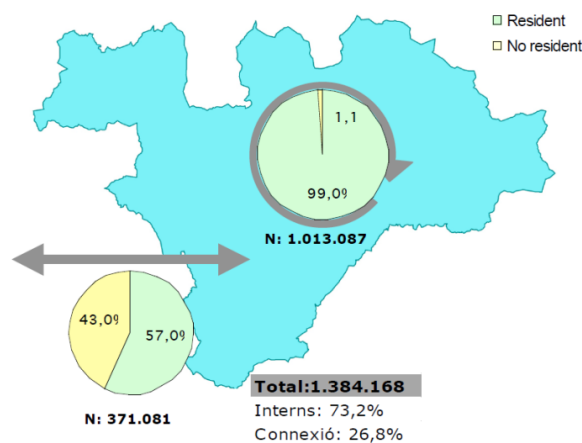
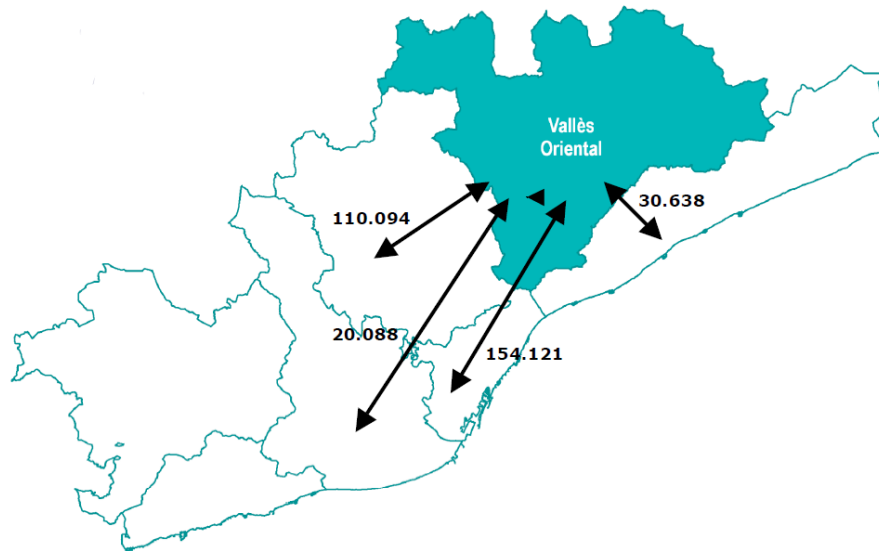


Imagen 1.- Distribución de desplazamientos de los residentes del Vallés Oriental (Fuente: EMQ 2006, ATM)

### 2.1.1 Desplazamientos de conexión

Si centramos el análisis en los desplazamientos de conexión (intercomarcales) observamos como las principales relaciones de los residentes del Vallès Oriental las encontramos en el Barcelonés, con un 41,5% de los desplazamientos de conexión (siendo un total de 154.121 viajes). Por otro lado, el Vallès Occidental es otro de los puntos más demandados con el 29,7%, es decir, con un total de 110.094 desplazamientos diarios.



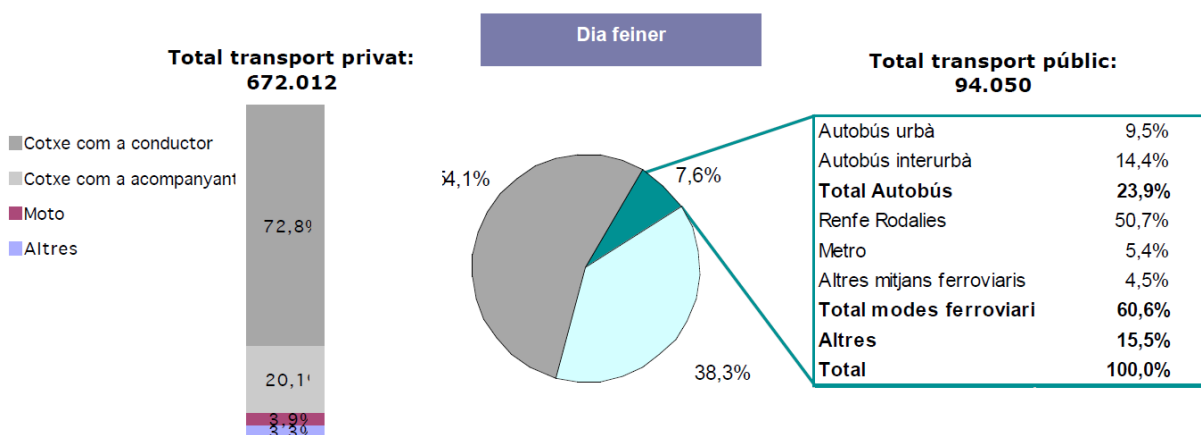
*Imagen 2. – Flujos de conexión intercomarcales en día laborable (Fuente: EMQ 2006, ATM)*

Estos valores nos permiten ver fácilmente como los desplazamientos de conexión se producen generalmente entre dos comarcas, ya que entre ellas atraen el 71,2% de todos los viajes intercomarcales con origen en el Vallès Oriental. Visto esto, sería de interés la posterior extrapolación de estos resultados a la red viaria y ferroviaria, teniendo en cuenta que a día de hoy, estas relaciones pueden ser suplidas por los diferentes modos de transporte de estudio. Por una parte, la relación entre Vallès Oriental y Occidental se realiza mayoritariamente de forma viaria por la AP-7, una vía de alta capacidad que tiene un rival poco atractivo, la línea R8 de cercanías, con una frecuencia media de 1 hora. Por otro lado, la conexión entre Vallès Oriental y el Barcelonés puede realizarse mayoritariamente vía C-33 o C-17, o bien R2 con ferrocarril, siendo esta última una digna competidora en cuanto a términos de servicio se refiere.

Más adelante será realizado un análisis más exhaustivo sobre estas relaciones y las oportunidades modales existentes en la actualidad.

## 2.1.2 Reparto modal

Paralelamente, se analiza el repartimiento modal de los desplazamientos producidos con origen en el Vallés Oriental, es decir, de aquellos 1.241.549 desplazamientos diarios. Según las encuestas de movilidad, la distribución por modo sigue el siguiente patrón:



*Imagen 3.- Reparto modal en día laborable de los desplazamientos con origen en el Vallés Oriental*

Más de la mitad de los desplazamientos se realizan utilizando vehículo privado (54,1%), especialmente en coche y como conductor. En segundo lugar encontramos los modos no motorizados, mientras que el transporte público tiene la cuota de mercado más reducida con un 7,6%. Destacar dentro de este modo, la elevada proporción de uso de los modos ferroviarios (60,6%), especialmente de Renfe Cercanías (50,7%). En contraposición tenemos el autobús, y especialmente debemos fijarnos en el autobús interurbano que da cobertura a los desplazamientos de conexión anteriormente definidos. Únicamente un 14,5% del transporte público utiliza este modo, lo que corresponde a un 1% del total de desplazamientos diarios en el Vallés Oriental. Una demanda que como se caracterizara más adelante corresponde a viajeros que no poseen vehículo privado y que además no tienen servicio de ferrocarril, obligándolos a depender de éste modo para llegar a su destino.

## 2.2 Desplazamientos intercomarcales predominantes

Teniendo en cuenta las principales relaciones de movilidad del Vallés Oriental descritas en el apartado 2.1.1 Desplazamientos de conexión, se analiza la oferta actual disponible para cada uno de los modos de transporte teniendo como origen el Vallés Oriental.

Viendo los resultados previos de repartición modal, solo van a ser analizados los modos de transporte público ferroviarios, descartando así un análisis más detallado sobre la oferta que actualmente se ofrece de autobús.

### 2.2.1 Conexión entre Vallés Oriental y Occidental

#### 2.2.1.1 Conexión viaria, la AP-7.

La autopista AP-7 es la vía de mayor capacidad que conecta las comarcas del Vallés Oriental y Occidental. Esta autopista, a pesar de ser de peaje en la mayoría de tramos, en la zona comprendida entre La Roca del Vallés (V. Oriental) y Martorell es de libre acceso, permitiendo que gran parte de los residentes en los mayores núcleos del Vallés Oriental, como Granollers, Mollet, Lliçà, Partes o Montmeló, entre muchos otros, tenga una buena comunicación con el conjunto del Vallés Occidental.

Esta gran demanda se refleja también en la Intensidad Media Diaria (IMD) de cada uno de los tramos que conforma esta autopista. Según datos del Ministerio de Fomento del año 2011, el tramo comprendido entre Montmeló y el Papiol destaca entre los demás con 107.210 vehículos/día.

Tramo	IMD en 2011 (vehículos/día)	Diferencia con respecto a 2010
La Jonquera - Montmeló	41.656	-4,3 %
Montmeló - Papiol (Barcelona)	107.210	-1,6 %
Barcelona - Tarragona	51.856	-5,4 %
Tarragona - Valencia	18.833	-6,3 %
Valencia - Alicante	20.831	-2,9 %
Circunvalación Alicante	6.533	-10,0 %
Crevillente - Cartagena	17.507	+1,9 %
Cartagena - Vera	3.142	-4,4 %
Málaga - Guadiaro	27.354	-4,7 %

Imagen 4.- Intensidad Media Diaria por tramos en la AP-7, resultados de 2011 (Fuente: Ministerio de Fomento)

### 2.2.1.2 Conexión ferroviaria, R8. Deficiencia de la red

El 26 de junio de 2011 fue inaugurada la esperada línea que discurre entre Martorell y Granollers, utilizando el trazado ya existente abierto en 1982 que daba respuesta a la necesidad de desviar el tráfico de mercancías por fuera del municipio de Barcelona.

Actualmente la línea consta de 8 estaciones en uso estructuradas de la siguiente forma:

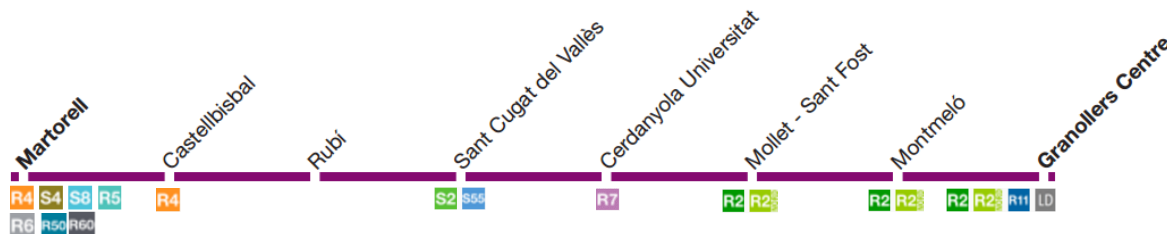


Imagen 5. – Línea R8 de cercanías (Fuente: Cercanías Renfe)

A pesar de unir los mayores núcleos de población del Vallés Oriental, como Mollet y Granollers, con parte del Vallés Occidental, esta línea consta de muchos factores que debilitan su eficiencia.

Para comenzar, esta línea posee una frecuencia en hora punta de 30 minutos y en hora valle de hasta 1 hora, haciendo que en cada sentido de la circulación solo se efectúen 16 viajes en un día entero.

Además, para que un usuario del Vallés Oriental pueda acceder a las ciudades más importantes del Vallés Occidental como son Sabadell y Terrassa, mínimo deberían realizar dos transbordos para acceder a la R4 en la zona del Vallés, por lo que la intermodalidad es más que deficiente. No obstante, y según el plano de la Imagen 5, parece que en la estación de Sant Cugat del Vallés existe conectividad con la red de Ferrocarriles de la Generalitat de Cataluña (FGC). Estas líneas a las que presuntamente tienen acceso inmediato los usuarios de la R8, como son la S2 y la S55 que dan acceso a Bellaterra, Sant Quirze y Sabadell, no son representadas con mucha precisión, ya que estas se encuentran separadas entre ellas y el transbordo requiere aproximadamente 15 minutos a pie.

Por lo tanto, a pesar de que la conexión entre estas comarcas no posee una línea muy competitiva, la potencialidad real de ésta es inmensa. Por cuestiones de demanda es claro y obvio que la red tiene fuerza suficiente como para ser una de las más atractivas de la red de Renfe cercanías. No obstante, sus claras limitaciones referenciadas anteriormente, hacen que a día de hoy no tenga el comportamiento deseado.

### 2.2.2 Conexión entre Vallés Oriental y el Barcelonés

La segunda, y más importante, relación de movilidad del Vallés Oriental, es la que se realiza con la comarca del Barcelonés. Al igual que en el caso estudiado anteriormente, las conexiones entre zonas se realizan generalmente a través de dos modos principales; el vehículo privado y el ferrocarril.

#### 2.2.2.1 Modo viario, congestión en las entradas a Barcelona

Actualmente, el corredor del Vallés Oriental está formado por dos vías que dan acceso a Barcelona, la C-17 y la C-33. A priori, parece que la oferta viaria es correcta y sobretodo atractiva, sin embargo este corredor registra las intensidades de tráfico más bajas de todos los corredores de acceso a Barcelona [1].

Para entender esta afirmación debemos fijarnos detalladamente en cada una de estas vías de acceso:

- Por una parte la C-17, o eje del Congost, es una vía de escasa capacidad con intersecciones a nivel y semaforizadas. Además, la conexión con Barcelona se da exclusivamente con la Avenida Meridiana reduciendo altamente la accesibilidad a gran parte de la ciudad condal.
- Por otro lado tenemos la C-33, una vía con una excelente accesibilidad a la B-10, la B-20 e incluso a la Avenida Meridiana. No obstante, es una vía de peaje por lo que su atraktividad es baja.

#### C-33 Barcelona - Montmeló

Estaciones / Estacions	Ligeros Lleugers	Pesados 1 Pesants 1	Pesados 2 Pesants 2
Barrera de Mollet	1,60	2,58	3,26

Imagen 6.- Tarificación de la C-33 en el peaje de Mollet (Font: Abertis Autopistas)

Históricamente la C-33 ha tenido el control del tráfico entre estas vías. No obstante, la tendencia ha cambiado desde el inicio de la crisis económica en 2008 generando un transvase de la demanda hacía la C-17, que, a día de hoy según datos recogidos por el RACC y mostrados en el estudio EuroRAP, supera en IMD a la C-33. Esta tendencia puede observarse en la imagen siguiente:

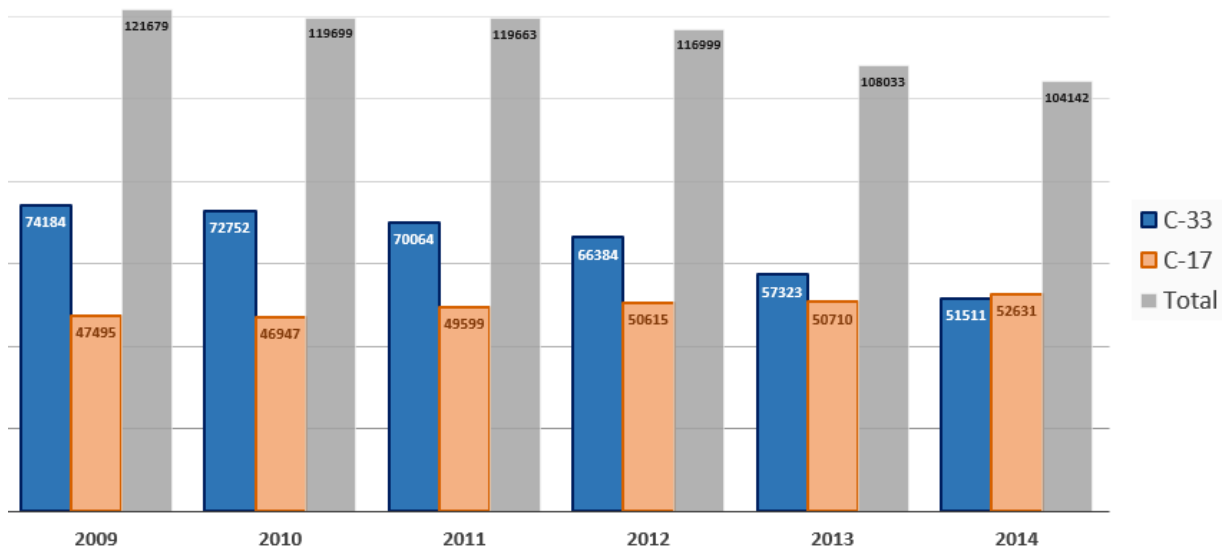


Imagen 7.- Comparativa de la evolución de la Intensidad Media Diaria (IMD) para la C-17 y la C-33

Este claro déficit en la oferta viaria con origen en el Vallés Oriental, propicia la aparición de una nueva combinación que permite a los residentes de la comarca acceder a Barcelona. Se trata del acceso a partir de la combinación AP-7 y C-58. A pesar de aumentar en poco más de 5 kilómetros la distancia del trayecto, la atraktividad de estas vías es mucho más alta que la C-17, por sus accesos a Barcelona, y la C-33, debido al peaje, por lo que es otra de las rutas a tener en cuenta en la cobertura Vallés Oriental – Barcelonés.

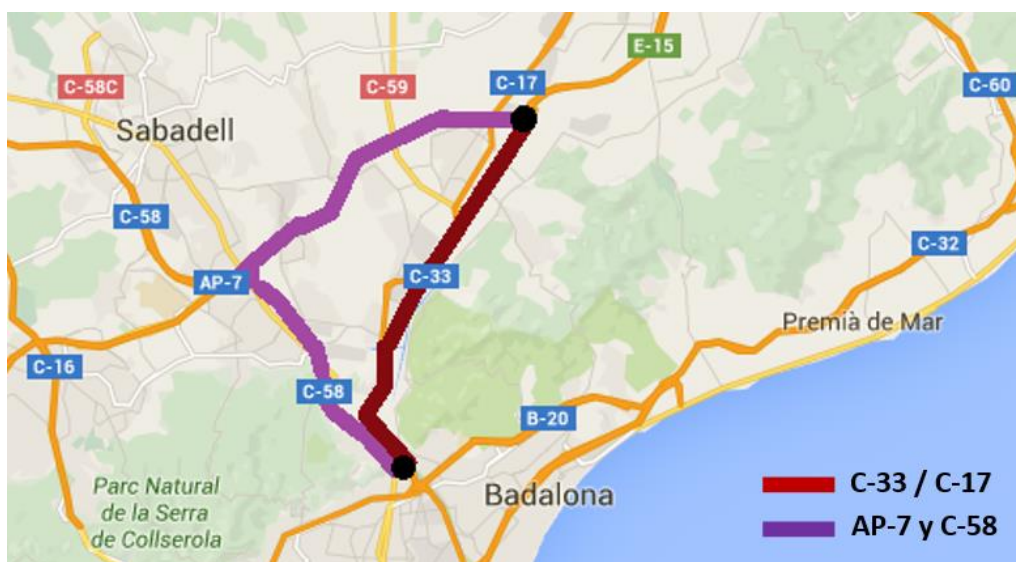


Imagen 8.- Comparativa entre los corredores de la C-33 y la C-17 con la combinación AP-7 y C-58



### 2.2.2.2 Conexión ferroviaria.

Teniendo en cuenta que la oferta viaria no es demasiado atractiva, la red de ferrocarril servida por Cercanías Renfe debe dar respuesta a las necesidades de movilidad.

A día de hoy, la comarca del Vallés Oriental cuenta con los servicios de dos líneas de ferrocarril, la R-2 (combinada con los servicios de la llamada R-2 Norte) y la R-3. Si hacemos una comparativa de demanda con las líneas más solicitadas e históricas de Cercanías en Barcelona observamos que por una parte la R2 (y R-2 Norte) es la que mayor número de viajeros recibe al año [2], mientras que la R3 muestra demandas excesivamente bajas:

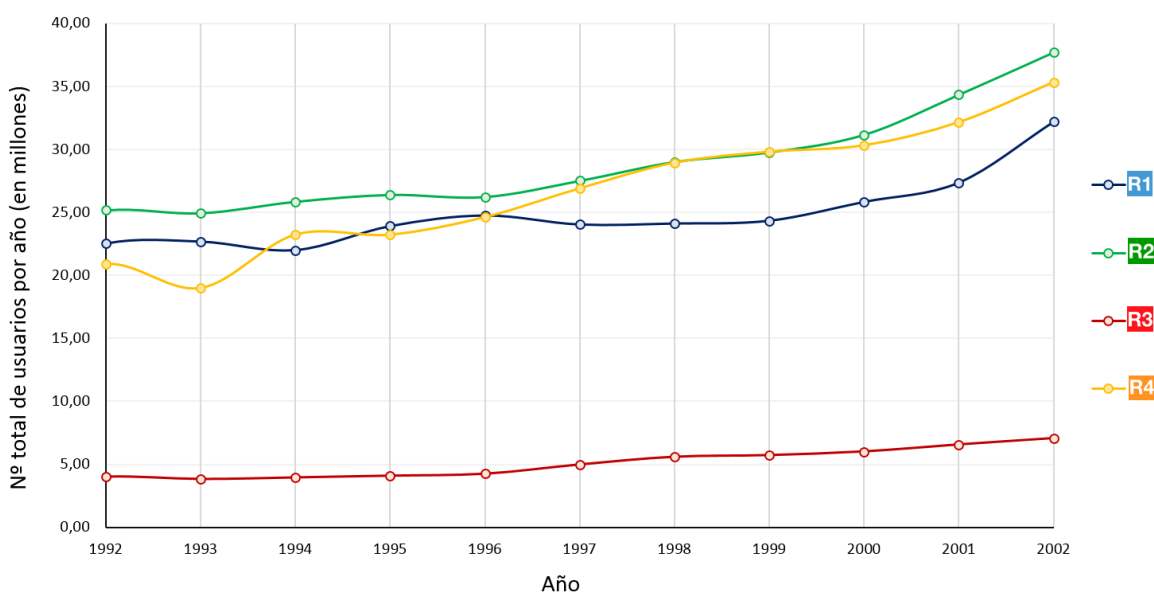


Gráfico 1.- Evolución del número de total de usuarios por año para las principales líneas de Renfe Cercanías Barcelona

Para entender este comportamiento debe analizarse no solo por donde discurren la líneas si no también la calidad del servicio presentada para cada una de ellas.

#### **R3:**

En su tramo por el Vallés Oriental, esta línea discurre por los municipios de Mollet, Partes y Granollers. La frecuencia media actual es de 45 minutos, principalmente debido a que el trazado es de vía única. A partir de Montcada Bifurcación, la línea ya tiene trazado desdoblado pero se encuentra con la congestión generada en los túneles de Barcelona producida por el tráfico de trenes de la R1, la R4 y la R7. Estos son los motivos principales por los cuales es una línea deficitaria con muy bajas demandas.

## R2 y R2-Norte:

La R2 está actualmente dividida en tres líneas debido a la construcción de la estación de la Sagrera que dará servicio a los servicios de cercanías y de alta velocidad. Por ello pues encontramos la R2, la R2-Norte y la R2-Sur. De todas, las dos primeras permiten la conexión entre el Vallés Oriental y Barcelona tal y como puedo observarse en la imagen siguiente:

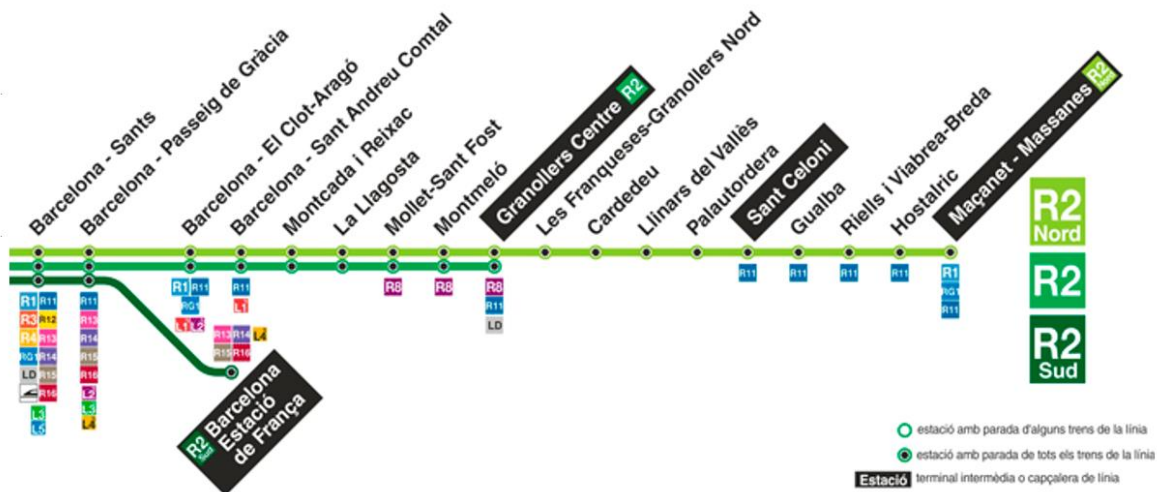


Imagen 9.- Esquema de la línea R2 (Fuente: Cercanías Renfe)

Si se centra el análisis en la cobertura que dan actualmente estas líneas al Vallés Oriental, a través de la web de cercanías se observa como el intervalo de paso mínimo de trenes es de 10 minutos y se produce en el período de hora punta de la mañana. Fuera de este, la frecuencia pasa a 15 minutos hasta llegar momentos del día con 30 minutos de intervalo en la hora más valle de demanda.

Es por ello, que analizando los niveles de accesibilidad viaria y comparándolos con los ferroviarios, la cobertura en tren se puede considerar suficientemente eficiente como para intentar potenciar una de las estaciones para que permita la atracción de demanda del vehículo privado.

## 3. Congestión en los corredores de estudio

### 3.1. Escenario actual

Analizadas en el capítulo anterior las conexiones principales entre el Vallés Oriental y el resto de comarcas y descritas las principales rutas viarias producidas, se analiza la posible congestión<sup>1</sup> derivada de esta movilidad. Se debe pues enfocar tanto en la AP-7 como en los corredores de acceso a Barcelona desde el Vallés Oriental y Occidental. Al formar ambas zonas de estudio dentro de las Vías de Congestión Metropolitanas, el estado actual de estas será analizado en conjunto:



Imagen 10.- Vías de congestión Metropolitanas, VCM (Fuente: RACC)

A continuación, se definirá, a partir de diferentes indicadores, el grado de congestión de las vías de estudio. Inicialmente se analizara la velocidad media por corredor con tal de ver de forma gráfica la congestión producida en la hora pico de la mañana en las VCM. Posteriormente, con el objetivo de cuantificar y cualificar la congestión, se analizará ésta desde diferentes niveles, tanto para el tipo de vía, como para el origen del usuario que utiliza alguna autopista de acceso a Barcelona.

---

<sup>1</sup> La congestión es el tiempo de demora resultante de la diferencia entre la duración real de recorrido (en cada periodo del día considerado) y la que se produciría en una situación de circulación libre (que a efecto del presente estudio se considera que es la que se produce a las 6 de la mañana).

### 3.1.1 Velocidad media por corredor como indicador

El primer indicador a usar, y uno de los que más refleja el grado de congestión para una vía, es la velocidad media. A continuación se muestra un mapa de velocidades para la hora punta, 8:30, en todo el conjunto de VCM.

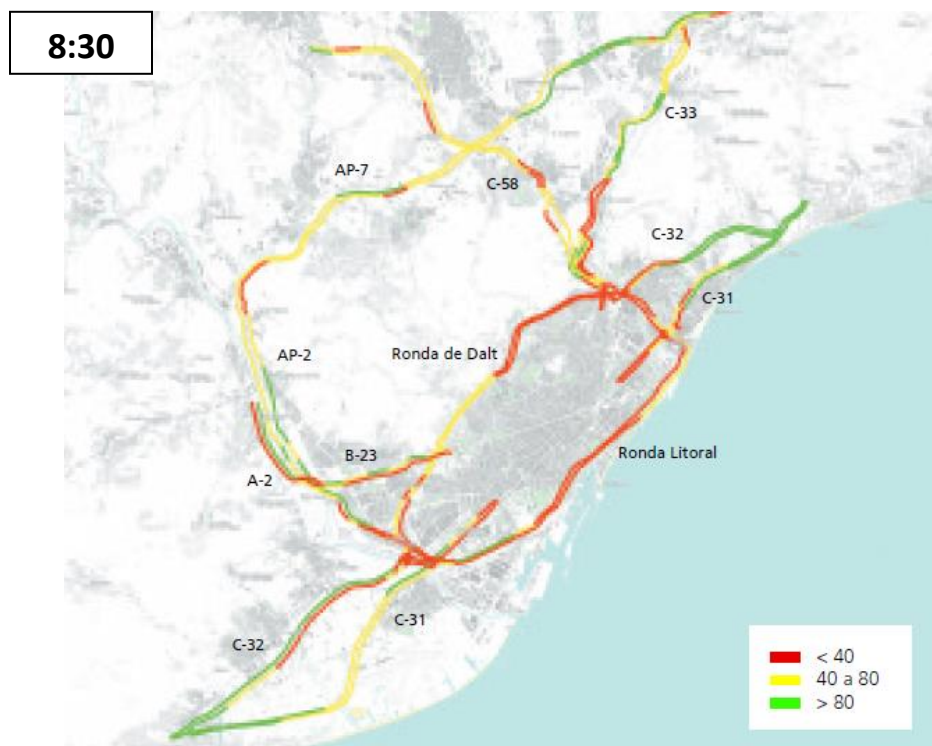


Imagen 11.- Mapa de velocidades (km/h) de circulación en las VCM a las 8:30h (Fuente: RACC)

Para nuestros corredores de interés, observamos que por una parte la AP-7 sufre una mayor congestión en sentido este, es decir, dirección Vallés Oriental. Sobre todo ésta se centra en la zona más próxima a la C-58 sentido sur, de entrada a Barcelona. No obstante, en el sentido de estudio, de este a oeste, el tráfico es denso, generando congestión también en la C-58 sentido norte, de acceso a Sabadell y Terrassa. Éste último indicador, corrobora la gran demanda existente entre el Vallés Oriental y las capitales del Vallés Occidental.

En cuanto a los corredores de acceso a Barcelona con origen en el Vallés Oriental, la C-17 y la C-33, observamos cierta fluidez en los tramos iniciales. Recordemos que estos eran los corredores con intensidades de tráfico más bajas, inferiores a 1.000 vehículos por cuarto de hora. No obstante, la congestión producida en el Nus de la Trinitat reproduce un cuello de botella que llega a congestionar los tramos más próximos a la ciudad condal.

### 3.1.2 Evaluación de congestión a nivel de red viaria y usuario

En este segundo apartado se evalúa y se cuantifica la congestión global de todas las vías metropolitanas congestionadas (VMC). Posteriormente, este mismo análisis será trasladado a los propios usuarios afectados.

Si se considera la funcionalidad de las diferentes vías del Área Metropolitana, es decir, las de entrada, de salida, las distribuidoras de tráfico (Rondas) o las de conexión entre corredores (AP-7/B-30), las Rondas soportan casi el 36% del tiempo perdido, confirmando el elevado nivel de utilización de este anillo distribuidor como vía de acceso a Barcelona.

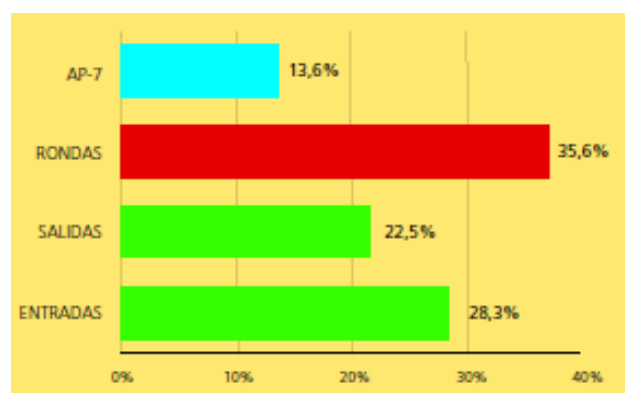


Gráfico 2.- Distribución porcentual del tiempo perdido según estructura funcional (Fuente: RACC)

Si detallamos estos grupos, desglosando para cada uno el conjunto de vías que lo conforman, tenemos los siguientes resultados:

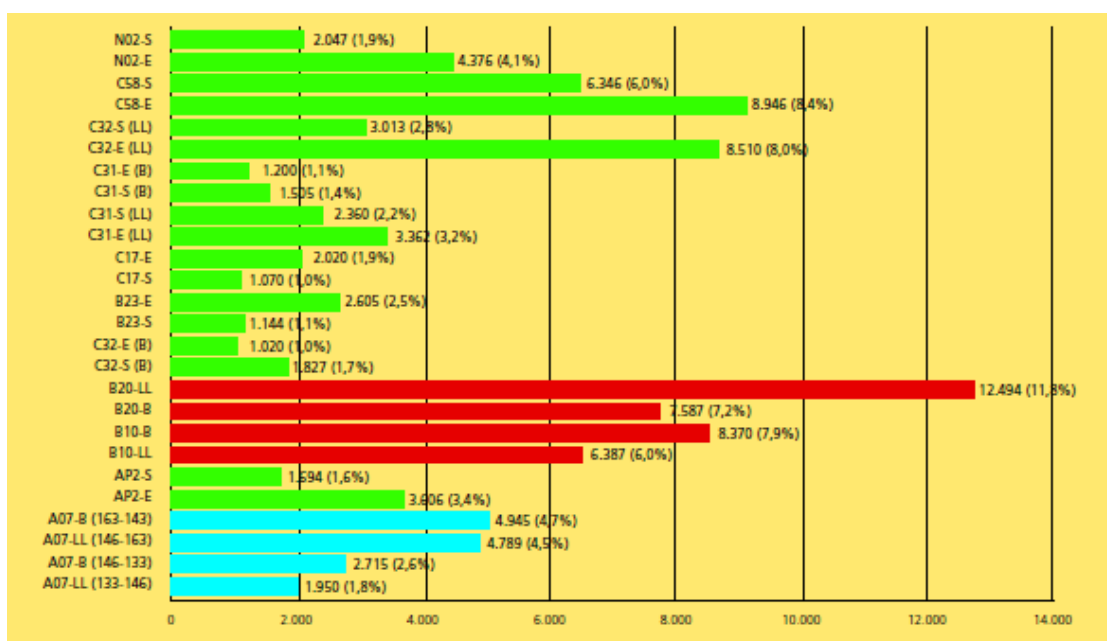


Gráfico 3.- Tiempo perdido por vía al día (horas/día) (Fuente: RACC)

Se observa fácilmente como la C-17 es una vía de acceso donde la demora producida por efectos de congestión es baja. Además, en comparación con el resto de vías que dan acceso/salida a Barcelona, esta demora es prácticamente despreciable. Por otro lado, la C-33, al ser una vía de peaje no concentra congestiones por norma general, por lo que no consta en la imagen anterior.

Por otro lado, el corredor de la AP-7 reúne casi el 14% del tiempo perdido en los corredores analizados, ya que su utiliza, a falta de un viario más exterior, como única vía transversal metropolitana.

A continuación se procede a analizar el tiempo perdido por usuario<sup>2</sup>, clasificándolos según la comarca de origen.

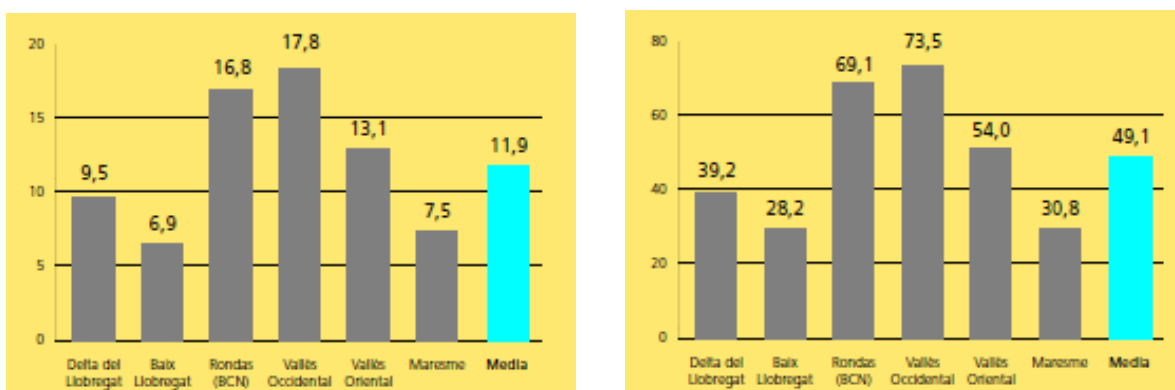


Gráfico 4.- Tiempo medio perdido por usuario y corredor al día (a la izquierda en minutos/día y a la derecha en minutos/año) (Fuente: RACC)

Obsérvese como los tiempos perdidos por un usuario del Vallés Oriental son de los más altos entre las comarcas analizadas e incluso llega a superar la media de estos. Esto se contrapone a lo analizado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde los corredores de acceso a Barcelona, la C-17 y la C-33 representaban los tiempos perdidos más leves.

Esto únicamente puede deberse a que la mayoría de este tiempo es sobre la AP-7 y no sobre las vías de entrada a BCN. No obstante, aquellos que utilizan el vehículo privado para entrar a la ciudad condal sufrirán grandes congestiones en las rondas o bien al entrar por Avenida Meridiana.

<sup>2</sup> Se considera el desplazamiento total de un usuario (ida y vuelta)

## 3.2 Previsión futura

### 3.2.1 Previsión siguiendo el modelo actual

Evaluados en el apartado anterior los niveles de congestión actuales, parece que la previsión futura en estos corredores no ofrece escenarios nada positivos. Así, en la mayoría de casos, si no se actúa con inmediatez, la congestión podría llegar a situaciones extremas.

Por otro lado, los usuarios del transporte público de superficie también se verán afectados por las demoras que genera la congestión. Paralelamente, la falta de competitividad del transporte público respecto al privado condiciona mucho las posibilidades de mejorar la eficiencia del viario.

Según el medidor INRIX del tráfico, proveedor internacional de inteligencia de transporte y servicios de vehículos equipados, Barcelona encabezó la lista de las ciudades más congestionadas de España y también registró el mayor aumento porcentual anual de congestión de todas las ciudades europeas, aumentando un 66%. Los conductores en Barcelona experimentaron 10 horas más de tráfico en comparación con 2013, pasando de perder 15 horas en tráfico en el año 2013 a 25 en 2014.

Ranking	Áreas metropolitanas de España	Horas perdidas en 2014	Diferencias con respecto al 2013 (en horas)
1	Barcelona	25	10
2	Madrid	22	-1
3	Sevilla	18	2
4	Bilbao	16	-8
5	Zaragoza	12	-4
6	Valencia	11	0

*Imagen 12.- Evolución de la congestión en las grandes ciudades españolas (Fuente: INRIX)*

Con tal de aliviar los problemas actuales y proveer al usuario de un sistema de movilidad más eficiente es necesario un conjunto de actuaciones que permitan descongestionar los problemas actuales en los corredores de entrada a la ciudad condal.

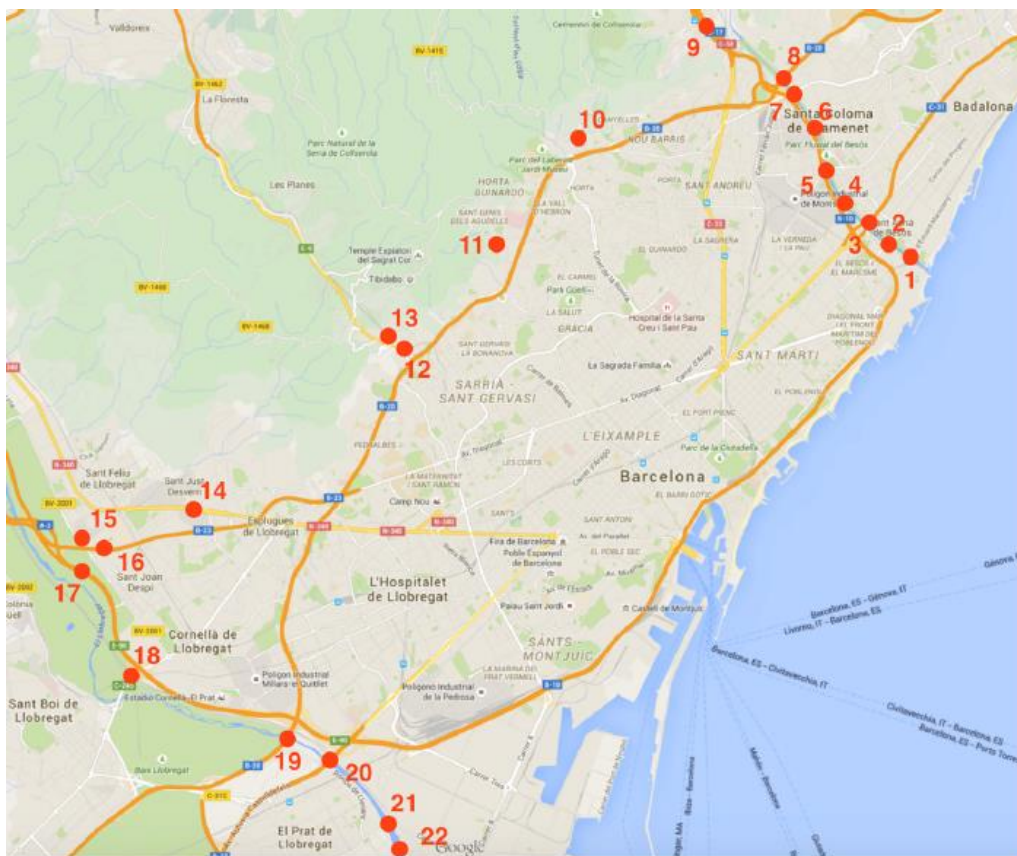


### 3.2.2 Posible escenario futuro: Pricing en las entradas Barcelona

En la actualidad, distintas ciudades europeas están considerando la introducción de algún tipo de peaje urbano, con el fin de dar una respuesta a la congestión viaria, reducir la contaminación, y financiar los nuevos requerimientos de infraestructuras y servicios de transporte [3]. Ciudades como Londres o Estocolmo han sido pioneras en este tipo de actuaciones que con el tiempo han corroborado la eficiencia de esta especie de alternativas para combatir la congestión.

Ante el escenario actual de congestión en las entradas y salidas de Barcelona y los escenarios futuros nada esperanzadores, muchos investigadores e ingenieros de tráfico han centrado en la ciudad condal la posibilidad de instalar este tipo de peajes para acceder a la ciudad.

No obstante, para suplir Barcelona con este sistema es necesario de dotar a los usuarios un buen sistema de alternativas al vehículo privado, centrándose claramente en una especial mejora en los servicios de transporte público interurbanos.



*Imagen 13.- Localización de los pórticos de acceso a Barcelona siguiendo una estrategia de pricing. Estudio para reducir la congestión en los accesos Barcelona (Fuente: Marc Vergé [4])*



### 3.3 Planes de actuación para combatir la congestión

Siguiendo la línea utilizada por la administración en las últimas décadas, la solución a los problemas de congestión se consigue aportando más oferta viaria a los usuarios del vehículo privado. No obstante, la experiencia de muchas ciudades muestra que, a largo plazo, las medidas que mejoran estratégicamente la gestión de la movilidad teniendo en cuenta el reparto modal sostenible son indispensables si se quiere mantener la eficiencia de la infraestructura con el tiempo.

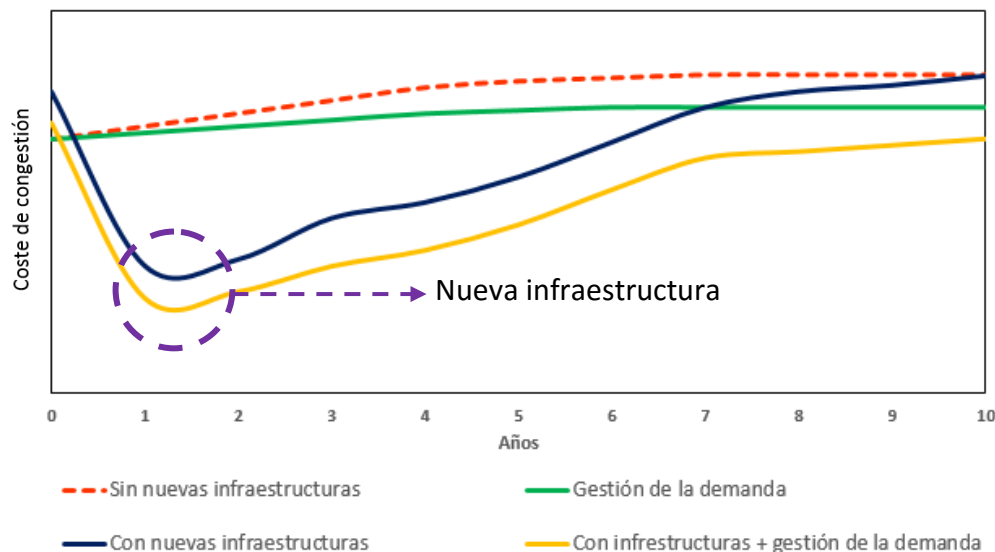


Imagen 14.- Impacto con el tiempo de medidas para paliar la congestión (Fuente: VTPL y elaboración propia)

Por ello, la solución pasa por un conjunto de actuaciones que afecten especialmente a la red de transporte público, favoreciendo un intercambio modal a partir de una importante mejora en estos sistemas.

El objetivo en este ámbito, según pide el usuario, es doble. De un lado remediar la carencia de conexión digna que todavía existe entre determinados espacios del área Metropolitana y, de otro, reducir sustancialmente los tiempos de trayecto en los distintos corredores de acceso a Barcelona.

Traspásese este doble problema a la red de ferrocarril. Por un lado, si se tiene en cuenta que la red ferroviaria en la ciudad de Barcelona (metro, FGC y Renfe) proporciona una malla bastante aceptable, es decir, que permite tener cobertura a la mayoría de zonas de la ciudad condal, los problemas de conexión se refieren a zonas de la RMB a las que no llega el ferrocarril de forma directa.

Por otro lado, los tiempos de trayecto no se conforman únicamente con el tiempo de viaje en el propio tren, sino que debe tenerse en cuenta el tiempo de acceso a la estación, el tiempo medio de espera (en función de la frecuencia), la afectación sobre el usuario producida por posibles transbordos (y su posterior y consecuente espera al nuevo modo) y el tiempo de acceso al destino del usuario.

De la necesidad de solucionar ambos problemas combinados surge la potencial idea del aparcamiento disuasorio, o Park & Ride, que permite reducir el tiempo de acceso a áreas relativamente próximas a la red de ferrocarril. Estas ciudades sufren actualmente ese déficit de oferta ferroviaria que fuerza a la movilidad obligada a realizar viajes en vehículo privado, ya que para acceder a la red de ferrocarril sería necesario un primer acceso a la estación en transporte público. Así pues, estos municipios verían reducido uno de los factores más condicionantes para su no elección del transporte público, el tiempo de acceso, generando un servicio de ferrocarril mucho más atractivo.

Especialmente, para posibles escenarios con pricing en las entradas de Barcelona, la idea de aparcamiento disuasorio no surge únicamente como un concepto para disuadir la congestión, surge como factor condicionante que permita la movilidad de acceso a la ciudad condal, por lo que es un aspecto clave y fundamental para el futuro de la capital catalana.

## 4. Propuesta de actuación – Park & Ride

---

### 4.1 Concepto de aparcamientos disuasorios (Park & Ride)

Una de las estrategias utilizadas para fomentar el transporte público con respecto al vehículo privado y poder reducir los problemas de congestión anteriormente comentados, es la creación de aparcamientos disuasorios.

Estos son estacionamientos situados en las proximidades de estaciones periféricas a grandes ciudades que permiten mejorar el tiempo de acceso de los usuarios a los servicios de transporte público como el ferrocarril, siendo la intermodalidad la base de este tipo de estrategias.

Estos sistemas están muy fomentados en las principales ciudades de la Unión Europea dentro de las políticas ligadas a la movilidad sostenible, ya que permiten dar solución a las dificultades y altos costes que supone el acceso a centros urbanos de grandes ciudades a partir de modos viarios.

### 4.2 Elección de la estación

En el estudio analizado en el apartado anterior destacamos dos flujos principales de demanda con origen/destino en el Vallés Oriental, las conexiones entre los dos Vallés y la conexión Vallés Oriental – Barcelonés.

Si queremos realizar una propuesta de actuación a partir de la construcción/ampliación de un Park & Ride que consiga atraer viajes del vehículo privado, la solución óptima se encontraría en una localización que permitiera mejorar ambas conexiones con una sola actuación. Es decir, actuar con un único aparcamiento disuasorio que diese la posibilidad de mejorar la conectividad con el Vallés Occidental y al mismo tiempo con el Barcelonés. Así pues, actuaríamos sobre estaciones que dieran cobertura a ambas comarcas. Por un lado, la R8 que cubre gran parte de su recorrido por el Vallés Occidental y por otro lado, la R2 y R2-Norte que envuelve los desplazamientos con destino Barcelona.

Siguiendo estos filtros, únicamente tres estaciones de la red de cercanías entran dentro de nuestro dominio de estudio. Estamos hablando de las estaciones de Mollet Sant Fost, Montmeló y Granollers Centro:



*Imagen 15.- Estaciones con servicio al Vallés Occidental y al Barcelonés*

Se analizan continuación las potencialidades y las limitaciones de cada una de las estaciones para la construcción de este aparcamiento disuasorio. En términos generales analizaremos el estado actual de accesibilidad a la estación, la existencia de parking, la posibilidad de terreno para edificar/ampliar el aparcamiento y la posibilidad de generar/atraer viajeros del propio municipio y de municipios colindantes.

#### 4.2.1 Granollers Centro

Si estudiamos primero la estación en sus términos de accesibilidad, tal y como indica el propio nombre de esta, la estación se localiza en la zona céntrica del municipio de Granollers impidiendo un acceso rápido y cómodo de los viajeros que necesiten acceder en coche.

En cuanto a la existencia de aparcamiento en las cercanías, en la actualidad la estación de Granollers Centro ya consta de un estacionamiento disuasorio. No obstante, debido a la baja capacidad de éste y la alta demanda que genera la estación, el aparcamiento no es gratuito y posee una tarifa que puede ser integrada con el billete de tren. Además, la localización céntrica de la estación impide cualquier proyecto que pueda generar zona de aparcamiento gratuita al usuario, ya que la única forma de poder ampliar la cantidad de estacionamiento actual, es mediante un parking subterráneo.

En el Anexo 1 se muestra una imagen aérea representando la situación actual de la estación y su aparcamiento disuasorio para entender las limitaciones comentadas.

#### 4.2.2 Montmeló

Montmeló con cerca de 10.000 habitantes es la menor en población de las tres estudiadas.

En cuanto a lo que se refiere a la estación, ésta ha sido recientemente reformada con tal de soterrarla como parte de los procesos de modernización del trazado Barcelona – Granollers – Portbou – Cerdère. Esta acción ha permitido disponer de una gran explanada justo encima de la estación donde una parte se ha destinado a la construcción del edificio de recepción de la estación y el resto está proyectado para ser un gran parking disuasorio.

Al mismo tiempo, la capacidad de atracción de viajeros de municipios colindantes es bastante favorable, pues poblaciones como Lliçà de Vall, Parets del Vallès o Montornès del Vallès se verían beneficiadas por este servicio (Imagen 16). No obstante, la cobertura actual entre municipios por red viaria es bastante limitada, lo que dificulta el acceso por carretera a esta estación siendo poco atractiva para la intermodalidad.



Imagen 16.- Imagen aérea de las zonas de influencia a la estación de Montmeló

### 4.2.3 Mollet – Sant Fost

Por último nos encontramos la estación de Mollet Sant Fost. Esta estación está localizada entre los grandes ejes vertebradores del territorio del Vallés Oriental, la AP-7, la C-17, la C-33 y la C-59. Es por eso que en términos de accesibilidad es una de las estaciones mejor situadas para dar cobertura a municipios que no tienen actualmente red de ferrocarril.

En cuanto al estado actual de la estación, ésta ya consta un servicio de aparcamiento disuasorio en sus inmediaciones y de acceso gratuito reservados únicamente a usuarios de Cercanías Renfe. Además, al estar situada en la periferia de Mollet, tiene la ventaja de poder realizar una ampliación del aparcamiento ya que alrededor del Park & Ride se encuentran diferentes locales y fábricas en desuso.

### 4.2.4 Elección

Partiendo del análisis pormenorizado de las diferentes alternativas de localización para nuestra actuación, se procede a la elección de la estación que más se ajuste a nuestros requisitos prioritarios.

En la siguiente tabla se representa de forma esquemática un resumen para cada una de las estaciones describiendo cómo de bien se ajusta a nuestras condiciones:

	Granollers Centro	Montmeló	Mollet St. Fost
Accesibilidad viaria	Mala	Mala	<b>Muy buena</b>
Capacidad Park & Ride	Baja	Muy alta	<b>Alta</b>
Posibilidad de ampliación	Muy baja	Alta	<b>Alta</b>
Generación/Atracción demanda	Baja	Media	<b>Alta</b>

*Tabla 1.- Elección de estación a partir de sus potencialidades y limitaciones*

Viendo la tabla, la elección queda definida rápidamente a la estación de Mollet Sant Fost que se adecua perfectamente a todos nuestros requisitos.

### 4.3 Análisis detallado de la potencialidad del P&R en Mollet Sant Fost

Realizada la elección, el presente estudio se centrará en la ciudad de Mollet del Vallés, localizada en la comarca del Vallés Oriental, provincia de Barcelona. Este municipio de más de 50.000 habitantes se sitúa en la depresión generada por las sierras litoral y prelitoral, en la llamada *Cataluña Corredor* [5] que da acceso a Barcelona. Esta particularidad de la morfología catalana determinó gran parte del trazado viario y ferroviario definido a partir de mediados del siglo XX, permitiendo que a día de hoy sea un lugar privilegiado en niveles de movilidad.

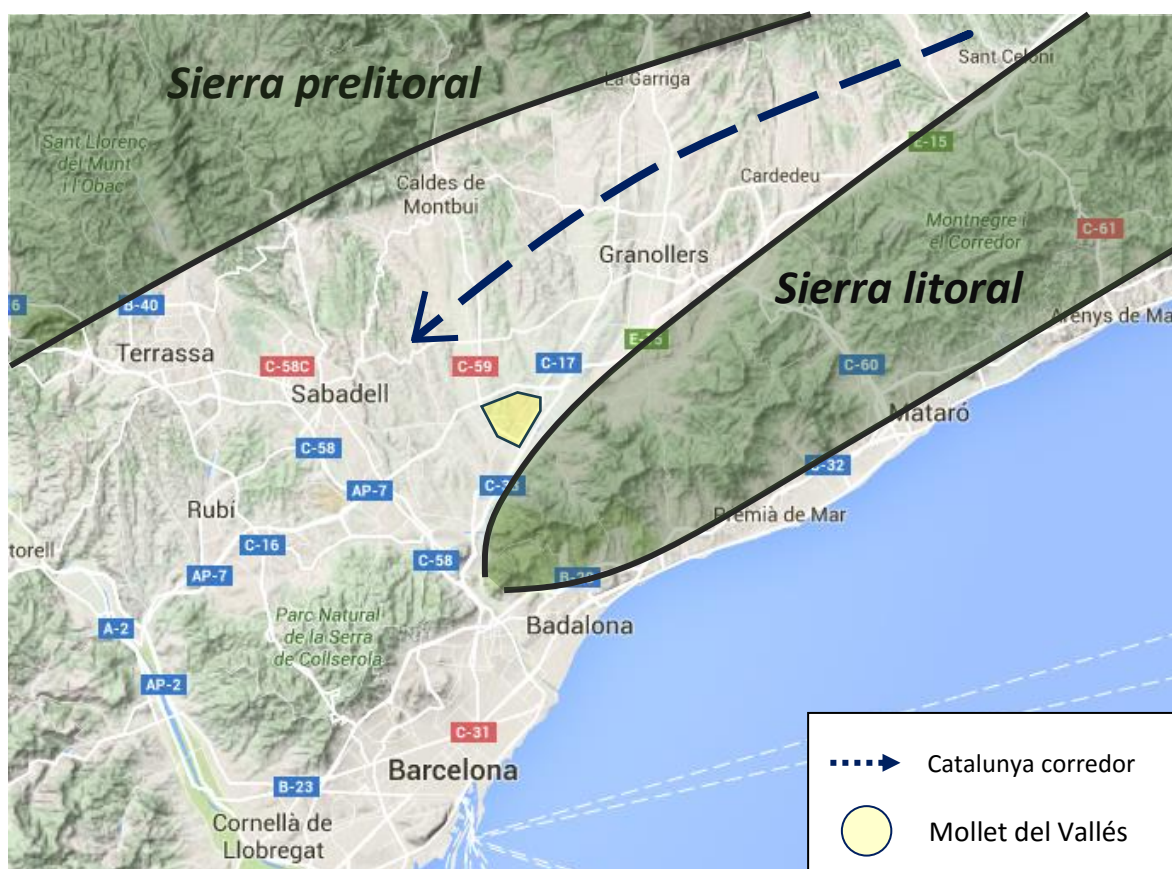


Imagen 17.- Situación de Mollet en el entorno geomorfológico de Cataluña

Estas ventajas en accesibilidad han sido las que han permitido que Mollet se localice en un lugar estratégico tal y como se detallará a continuación.



#### 4.3.1 Estado actual del aparcamiento disuasorio

Como ya se ha comentado brevemente en el apartado 4.2.3 Mollet – Sant Fost la estación de Mollet Sant Fost ya cuenta actualmente con un aparcamiento disuasorio. Al igual que la estación, este se sitúa ligeramente apartado del centro de la ciudad de Mollet lo que facilita el acceso a ésta sin llegar a adentrarse en el casco urbano.

Concretamente, posee dos zonas bien diferenciadas de aparcamiento separadas por la vía del tren. Una zona con capacidades bajas y que se encuentra en la zona noroeste de la estación, es decir, en la zona pegada al municipio, y otra con una capacidad mucho mayor en la zona opuesta. Esta distribución puede analizarse en la imagen aérea siguiente:



*Imagen 18.- Imagen aérea del aparcamiento disuasorio de la estación de Mollet Sant Fost*

En cuanto al primer parking, el más próximo a la ciudad (marcado en azul), este no ofrece un servicio exclusivo a los usuarios, por lo que la capacidad es muy limitada y casi se despreciará en el estudio.



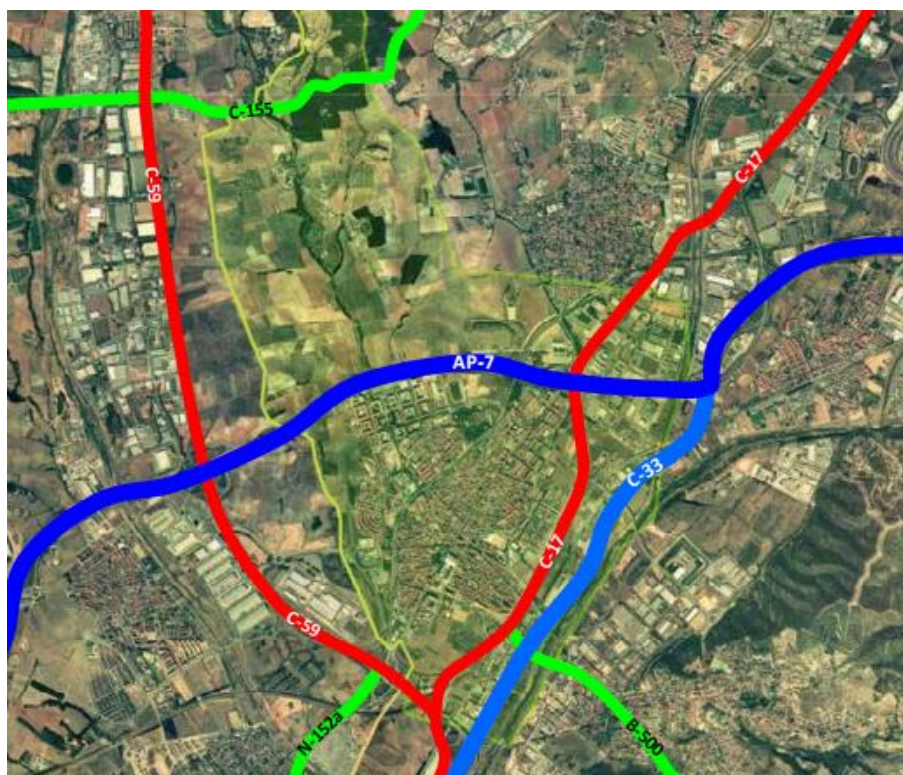
De forma opuesta se encuentra el otro, en el cual actualmente la demanda supera a la oferta, llegando a desbordar la capacidad del parking tal y como se puede observar a través de Google Street View. Es por eso que deberá estudiarse también la necesidad de ampliación del aparcamiento en caso de que las previsiones de éxito sean claras.

#### 4.3.2 Generación/Atracción de demanda

##### 4.3.2.1 Zonas con potencial

Como se ha comentado anteriormente, el Vallés, tanto Occidental como Oriental, acogió la Cataluña corredor que con el tiempo se ha transformado en un gran abanico de vías que conectan el territorio catalán.

Concretamente, en Mollet encontramos una zona donde se concentran un gran conjunto de autopistas y carreteras que rodean la ciudad tal y como se observa en la imagen adjunta a continuación:

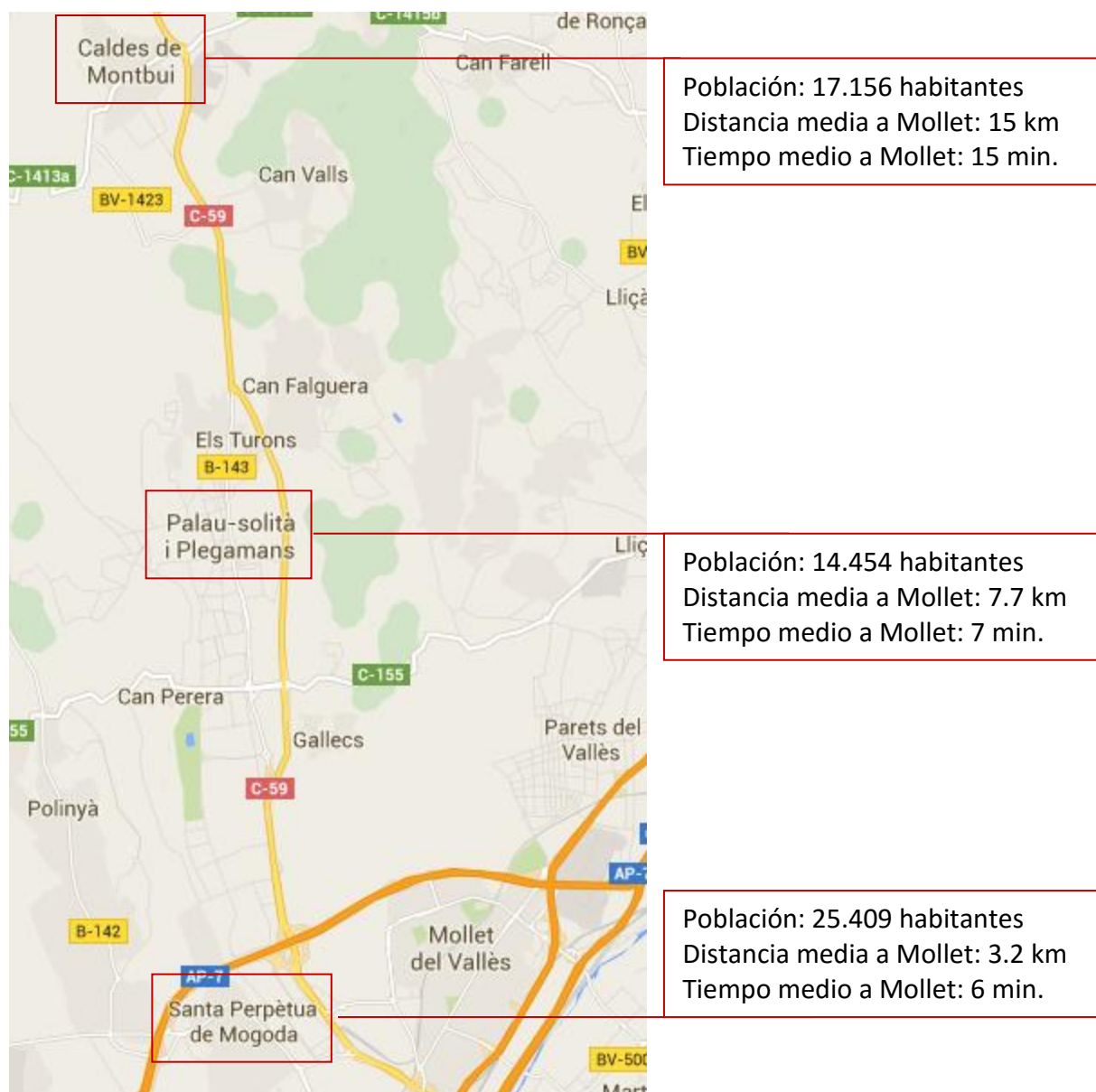


*Imagen 19.- Principales ejes viarios de salida y acceso a Mollet (Fuente: Ayto. Mollet del Vallés)*

Este entramado de vías facilita el acceso a la estación que se localiza cerca de la intersección entre la C-59 y la C-17. Sobre el eje de la C-17 y la C-33 actualmente ya existe cobertura con ferrocarril, es decir, no es posible generar o atraer demanda hasta Mollet de vehículos que ya utilicen esta vía, ya que utilizarían los servicios de ferrocarril de

ciudades más próximas. No obstante, sobre la C-59 no sucede esto y los municipios que tienen acceso a esta vía no gozan de grandes oportunidades de este modo de transporte.

Concretamente estos municipios son Santa Perpetua de Mogoda, Palau-solità y Plegamans y Caldes de Montbui:



*Imagen 20.- Municipios con potencial para utilizar el Park & Ride en Mollet Sant Fost*

Más de 55.000 habitantes se verían beneficiados por esta ampliación en el aparcamiento disuasorio de la estación de Mollet Sant Fost. No obstante, es importante identificar si estas zonas ya hacen uso de la estación, y en caso contrario los motivos que hacen poco atractiva la intermodalidad en esta estación.

#### 4.3.2.2 Intermodalidad Actual<sup>3</sup>

La Autoritat del Transport Metropolità, ATM, proporcionó para el presente proyecto una matriz de demanda diaria de toda la RMB datada del 2013. En ella se cuantifican el conjunto de viajes producidos durante todo el día entre las diferentes áreas en las que divide el territorio de estudio.

Para analizar la intermodalidad que se produce actualmente aprovechando el aparcamiento disuasorio localizado en la estación de Mollet Sant Fost, debe analizarse la relación entre las áreas de los municipios de estudio y la zona donde se encuentra la estación de Mollet Sant Fost.

En la matriz diaria se muestran los siguientes datos de relación:

	Área donde se localiza la estación de Mollet St. Fost	Estimación de viajeros con destino Mollet St. Fost
Caldes de Montbui	136 personas	6 usuarios del P&R
Palau-Solità i Plegamans	201 personas	9 usuarios del P&R
Santa Perpetua de la Mogoda	412 personas	18 usuarios del P&R

*Tabla 2.- Estimación de la movilidad actual entre los municipios de estudio y la estación de Mollet Sant Fost*

Al ser el área donde se localiza la estación de Mollet St. Fost una zona muy extensa (con área de 3.2 km<sup>2</sup>) se considera que solo el 5% de los viajes con destino a ésta tienen como objetivo la estación de Mollet Sant Fost.

Esta hipótesis arroja unos resultados previsibles a la vez que negativos, ya que aproximadamente poco más de 75 personas hacen uso del aparcamiento disuasorio de la estación de Mollet Sant Fost, un claro déficit de potencialidad del cual debe identificarse el principal motivo que lo genera.

En cuanto al acceso en autobús a la estación de Mollet Sant Fost desde estas ciudades del corredor de la C-59, se considerará completamente nulo el número de usuarios que hace esta ruta. Esto se demuestra al observar el servicio en autobús que actualmente se presta a estas ciudades, véase el **Anexo 2**.

---

<sup>3</sup> Se descarta cualquier aportación paralela a través de transporte público, ya que las líneas existentes en la actualidad que unen Mollet con el resto de localidades de estudio son claramente ineficientes, ofreciendo de media servicios con frecuencias horarias.

#### 4.3.2.3 Deficiencias actuales

Como ya se comentó previamente en el apartado 3.1.2 Evaluación de congestión a nivel de red viaria y usuario, donde se analizaba propuestas para combatir la congestión, uno de los principales problemas de la red actual de ferrocarril es la dificultad de acceso que tienen ciertas zonas.

Con tal de analizar si estos problemas también se reproducen en nuestra área de estudio, se despliegan a continuación los tiempos de acceso desde cada uno de los municipios hasta el estacionamiento disuasorio. Para tener noción de la afectación producida sobre el tiempo total de viaje, también se muestran los tiempos medio esperados hasta la llegada a un punto concreto de Barcelona (Plaza de las Glorias) en transporte público y vehículo privado:

	Acceso estación Mollet (tiempo actual)	Tiempo hasta destino (en Ferrocarril)	Tiempo hasta destino (en coche) <sup>4</sup>
Caldes de Montbui	19 minutos	44 minutos	30 minutos
Palau Solità i Plegamans	12 minutos	37 minutos	24 minutos
Santa Perpetua de la Mogoda	8 minutos	33 minutos	22 minutos

Tabla 3.- Análisis de los tiempos de acceso actuales al estacionamiento disuasorio y comparativa con los tiempos de viajes totales a Barcelona en transporte público y en vehículo privado

Puede observarse como para el caso de Caldes de Montbui, solo el hecho de acceder a la estación de Mollet le cuesta cerca de un 45% total del tiempo invertido en ferrocarril. Al mismo tiempo, solo con el tiempo de acceso que debería invertir para llegar al aparcamiento disuasorio, un usuario con origen en Caldes de Montbui ya estaría en las inmediaciones de la ciudad condal.

En menor grado aunque de forma negativa encontramos el caso de Palau Solità i Plegamans, donde un 32% del tiempo se destina únicamente al acceso a la estación.

---

<sup>4</sup> El tiempo estimado en vehículo privado se supone en situación de tráfico libre de congestión (*free flow total travel time*)

Para todos estos casos, parece obvio como la accesibilidad es el punto débil que atenúa la potencialización del aparcamiento disuasorio actual. Es por ello, que la primera medida a tener en cuenta debe ser la mejorar de los accesos viarios a la estación de cercanías.

Como ya se observó en el apartado anterior, los accesos viarios a la estación de Mollet Sant Fost requieren una mejora previa antes de la posible ampliación del aparcamiento.

A map of Mollet del Vallès showing the location of Carrer Indústria, 1. A blue route is highlighted, starting from the bottom left and ending at Carrer Indústria, 1. The route is labeled with a car icon, a travel time of 19 min, and a distance of 16.3 km. The map includes various roads and landmarks, such as the Polígon Industrial Can Negre, the Riu Besòs, and the Carrer del Besòs. The location Carrer Indústria, 1 is marked with a red pin and a label.

Tanto los usuarios de Palau Solità i Plegamans como de Santa Perpetua de la Mogoda, se enfrentan a estas dificultades para acceder a la red de ferrocarril. Es por ello que la primera actuación imprescindible para potencial el aparcamiento disuasorio en la estación de Mollet parte de la necesidad de la mejora en los accesos.

31



## 5. Simulación de tráfico

---

### 5.1 Introducción

Los problemas de congestión, seguridad y eficiencia que existen en los sistemas de transporte de algunos países son la causa de pérdidas económicas, daño al medio ambiente y numerosos accidentes de tráfico.

A partir de la década de los 70, los responsables de los departamentos de tráfico intuyeron que las soluciones tradicionales que se aplicaban no eran suficientes para resolver la problemática de entonces [6]. Generalmente, estas soluciones implicaban la construcción de nuevas infraestructuras o la ampliación de las ya existentes, que en muchos casos resultaban no ser viables debido a los costes, la falta de espacio o las consecuencias nefastas para el medio ambiente. Surge de esta deficiencia la idea de aplicar los últimos avances en el campo de la tecnología para dar soluciones más efectivas al transporte.

La realización de simuladores para un posterior análisis de los resultados permite extraer importantes conclusiones que ayuden a disponer de un mayor conocimiento de la situación de tráfico en una ciudad o en vías interurbanas, ofreciendo posibles soluciones a los problemas identificados.

Básicamente el hecho de simular permite probar un plan de actuación o un diseño, evaluar su funcionamiento y, como sería preferible, realizarlo bajo condiciones y cargas diversas de tráfico. Los análisis de sensibilidad se pueden realizar para considerar como una instalación actuarial bajo flujos de tráfico mayores, o como un sistema de control actuado se puede adaptar a diversos flujos. Igualmente, una simulación permite determinar cuál podría ser la forma más adecuada de realizar una instalación, ya que al presentar resultados de forma visual, además de hacerlo de forma numérica, resulta más fácil de apreciar las zonas donde puede haber más conflictos.

En una simulación siempre se tendrá en cuenta una entrada de datos (inputs), que tendrán que ser procesados por el usuario, y que caracterizan las entidades y el comportamiento de esta. La calidad y cantidad de estos marca en gran parte la precisión de los resultados obtenidos. En el caso de la simulación de estudio, los inputs son la geometría de la RMB, la demanda diaria producida en esta misma área y el reparto modal para cada una de las relaciones producidas en la propia RMB.

Con ello se generaran resultados, outputs, con los que inicialmente se pretende analizar el estado actual de tráfico, principalmente en los accesos a la entrada de Barcelona y el corredor transversal de la AP-7. Posteriormente, una vez caracterizado el flujo en cada una de las vías, se pretenden evaluar diferentes estrategias que permitan atraer al usuario del vehículo privado al transporte público, concretamente al ferrocarril.

Con todo esto, se puede decir que una simulación proporciona una capacidad de reacción más rápida y completa que cualquier otro método. No obstante, al final siempre será el analista el que tendrá la responsabilidad de interpretar detalladamente y de forma idónea la información proporcionada y entender las correspondientes relaciones causa-efecto.

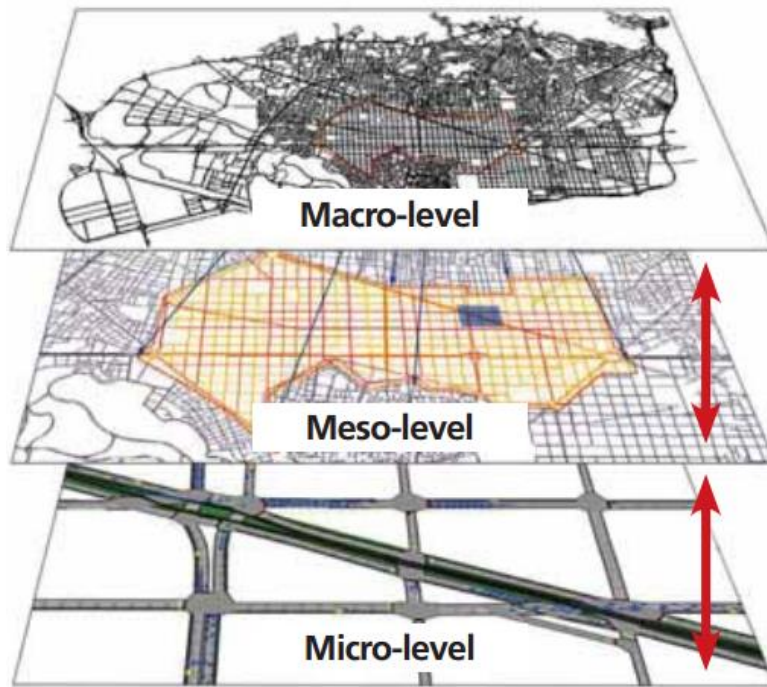
## 5.2 Aplicaciones de simuladores de tráfico

Este tipo de softwares facilitan la realización de previsiones de tráfico sobre determinadas condiciones y sirven para conocer cómo podría afectar la realización de modificaciones en la organización general del tráfico. A continuación se muestran algunos ejemplos sobre posibles aplicaciones de estudio con simuladores de tráfico:

- **Análisis de nueva infraestructura:** a partir de diferentes alternativas posibles ayuda a determinar que opción puede ser más eficiente.
- **Variaciones en la infraestructura:** análisis de posibles cambios en una infraestructura existente para determinar las más favorables.
- **Control de tráfico:** evaluar y mejorar los planes de control existentes mediante microsimulación.
- **Estudios de viabilidad:** muy recomendables antes de la realización de inversiones costosas, como son normalmente los proyectos relacionados con el transporte y la infraestructura.
- **Gestión del tráfico:** diseño de diferentes estrategias con diferentes sistemas para cada uno de los posibles estados del tráfico.
- **Gestión de tráfico en tiempo real:** mediante el uso de datos proporcionados por detectores instalados en la red de carreteras, el simulador genera la demanda y la predicción del tráfico más inmediata, permitiendo identificar la mejor estrategia posible para mantener un tráfico fluido.
- **Estudios medioambientales:** a través de las emisiones de los vehículos que participan en la simulación, se puede hacer una valoración del impacto ambiental que se produce o que se puede producir en un futuro.

## 5.3 Modelización según el nivel de detalle

Los modelos de simulación se pueden clasificar según el nivel de abstracción y, en consecuencia, del nivel de detalle con el que representan el sistema a estudiar. Estos niveles son, en orden creciente de definición, los modelos macroscópicos, mesoscópicos y microscópicos.



*Imagen 22.- Diferentes niveles de modelización (Fuente: Aimsun)*

En el presente proyecto se van a utilizar los niveles macroscópicos y microscópicos. Es por ello que a continuación se muestra una breve explicación del funcionamiento y base teórica de cada uno de ellos.

### 5.3.1 Modelos macroscópicos:

Los modelos macroscópicos se centran principalmente en las relaciones globales de los flujos de tráfico como la velocidad, el flujo y la densidad, encontrando relaciones de equilibrio. Por naturaleza se trata de modelos continuos que hacen uso de las ecuaciones diferenciales utilizadas en otros campos como la mecánica de fluidos.

Estos modelos, pues, ofrecen una visión poco precisa de la realidad, y su aplicación será válida únicamente cuando los resultados no sean sensibles a los detalles microscópicos o bien el área de estudio sea suficientemente amplia, con un tiempo y recursos limitados.



Debe tenerse en cuenta que la modelización a nivel macroscópico (conocida también como modelización de flujo continuo) aparece a finales de los años 60, con la finalidad de facilitar el trabajo de los analistas de tráfico de la época y proporcionarles herramientas para la mejor gestión de los mismos [7]. Inicialmente se observó la necesidad de modelizar la interacción entre dos aspectos básicos como son la red de tráfico (infraestructuras y sistemas de señalización y control) y la demanda de viajeros y su comportamiento tipo, es decir, los desplazamientos que quieren hacer los conductores (demanda) y la infraestructura que proporciona los medios para hacerlo (oferta). Estos dos factores interaccionan en la medida que los viajes reaccionan delante de los límites de velocidad o las condiciones de las vías (principalmente la relación entre volumen asignado y capacidad), y toman un conjunto de decisiones de manera que la infraestructura se adapta a ellos.



*Imagen 23.- Araña de tráfico en el centro de la ciudad de Leicester*

### 5.3.2 Modelos microscópicos:

En este caso los modelos microscópicos se centran en la definición del flujo mediante descripción individual de los vehículos que interactúan los unos con los otros en las diferentes situaciones que se puedan presentar [8].



*Imagen 24.- Ejemplo de microsimulación (Fuente: Aimsun)*


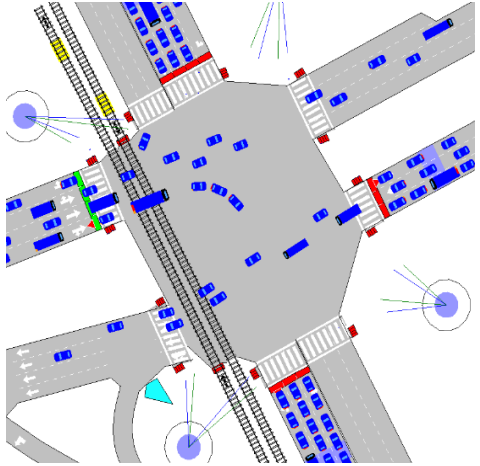
Estos modelos ofrecen una visión mucho más fiel a la realidad, pero limitada a escenarios de dimensiones compactas o a la potencia de cálculo de los equipos informáticos disponibles y la capacidad del programa utilizado [9].

Normalmente, la conducta de los vehículos está regida por una serie de reglas de comportamiento que determinan como acelera y desacelera (modelo de seguimiento de vehículo) y cambia de carril (modelo de cambio de carril) de un vehículo, además de describir cómo y cuándo cambia su ruta. Adicionalmente, se describe de forma detallada el control de tráfico sobre el cual han de reaccionar los vehículos, sean señales, semáforos, o la manera en que operen y la localización y operación de los detectores.

Cabe destacar que en este tipo de modelos la demanda puede introducirse al sistema de dos formas diferentes, ya sea indicando los flujos entrantes a la red y, posteriormente, los porcentajes de gira en cada intersección, o bien indicando los valores de la matriz O/D correspondiente al conjunto de la red.

Como ya se ha comentado, estos modelos son claramente los más complejos, por el hecho de involucrar un alto grado de variables, por lo que la complejidad del algoritmo se convierte en lo más importante y la simulación más lenta y costosa, aunque eso sí, más detallada, permitiendo una mejor ilustración de la realidad.

### 5.3.3 Cuadro comparativo:

	MODELO MACROSCÓPICO	MODELO MICROSCÓPICO
Cobertura geográfica		
Demanda	Generalmente, matriz O-D estática	Matriz O-D dinámica
Control de tráfico	No es necesaria la señalización ni información de tipo geométrico	Necesita señalización detallada y se debe disponer de planes de control de funcionamiento
Análisis	Situación de equilibrio basadas en funciones de costes del tipo volumen - demora	Comportamiento del modelo basado en algoritmos de seguimiento de coche y cambio de carril.
Ventajas	Rápido y sencillo a nivel computacional. Permite analizar grandes áreas geográficas	Puede analizar estrategias operacionales como la coordinación de la señalización del tráfico
Limitaciones	No es sensible a estrategias operaciones. No es capaz de analizar la desviación dinámica a nivel regional.	Limitación en el dominio geográfico a causa de la complejidad computacional y de calibración.

## 5.4 Aimsun: Software de simulación de tráfico

Aimsun es la única herramienta en el mercado que integra, en una sola aplicación de software, tres tipos de modelos de transporte: la asignación estática de tráfico, un simulador mesoscópico y el mejor simulador microscópico del mundo.

Es por ello que Aimsun posee un elevado prestigio académico, comercial y técnico. Su desarrollo ha sido posible gracias a más de 20 años de investigación, a decenas de publicaciones científicas y a la información proveniente de los miles de proyectos realizados por sus usuarios.

Por su capacidad para combinar las aproximaciones estáticas y dinámicas en un solo entorno, Aimsun es una herramienta única. Gracias a su alta velocidad de cálculo puede trabajar con modelos dinámicos de las mayores ciudades del mundo. Su intuitiva interfaz de usuario, sus objetos lógicos, la facilidad en la calibración y la impresionante colección de salidas que proporciona permiten reducir la duración de los proyectos.

Aimsun incluye el conjunto de interfaces más completo del mercado y trabaja con los modelos de demanda, optimización semafórica y sistemas de control adaptativos más extendidos. Y en cuanto a personalización, aplicaciones en tiempo real e investigación se refiere, Aimsun ofrece una flexibilidad sin parangón, con un conjunto de herramientas de programación que incluyen scripting en Python y C++.



*Imagen 25.- Simulación ejemplo a nivel microscópico realizada con Aimsun (Fuente: Aimsun)*



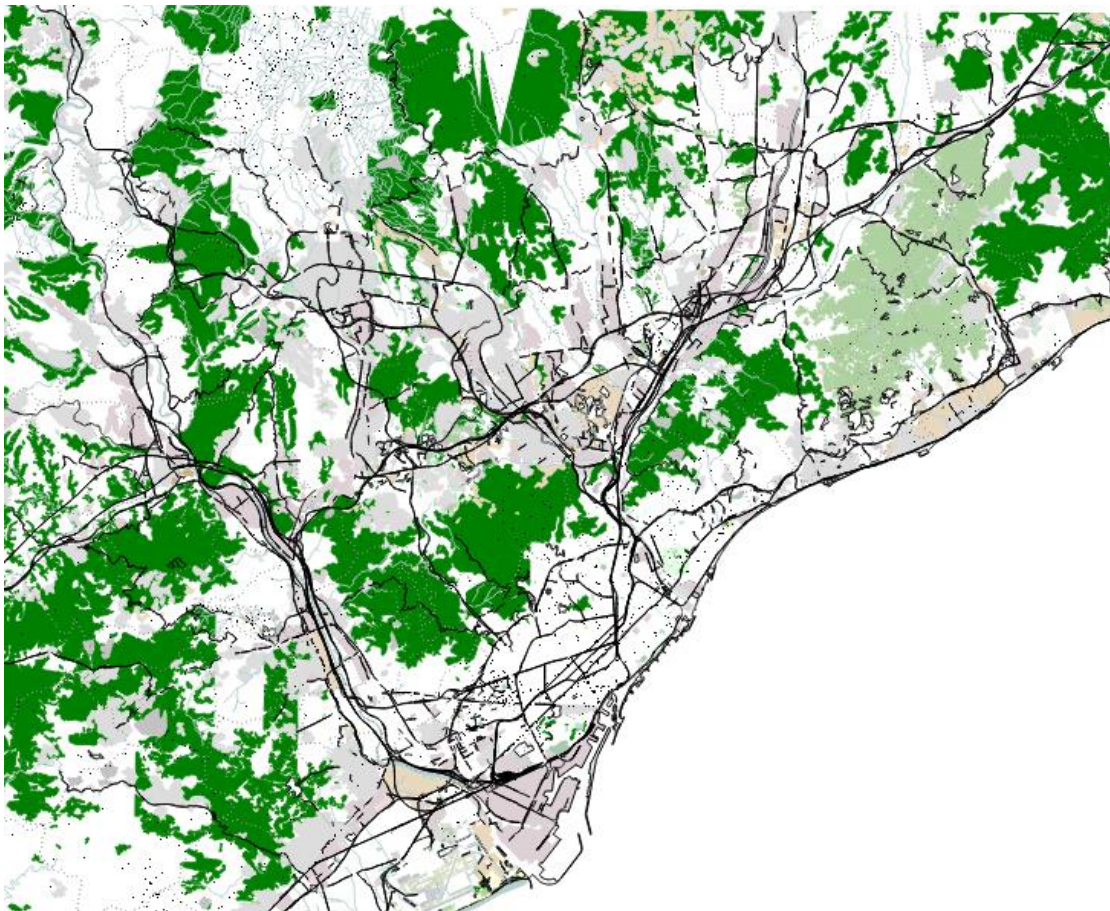
## 5.5 Generación del modelo. Inputs requeridos

### 5.5.1 Importación de la geometría (OSM)

El primer input necesario, y que servirá como base de nuestro modelo, es la importación de la geometría, es decir, del conjunto de vías sobre el cual se apoyará nuestro proyecto. En este aspecto Aimsun destaca al ofrecer una prestación llamada importador de *OpenStreetMap* que permite empezar cualquier proyecto con la geometría de cualquier parte del mundo solo con conexión a internet, sin la necesidad de depender de nadie que aporte el material necesario.

Esta importación permite tener acceso a la red completa de carreteras y de ferrocarril proporcionando automáticamente información sobre ellas como nombre, capacidad, velocidad máxima, entre otros muchos atributos.

La importación que se realizó para el presente estudio representa el conjunto de la RMB tal y como se puede visualizar en la siguiente imagen:



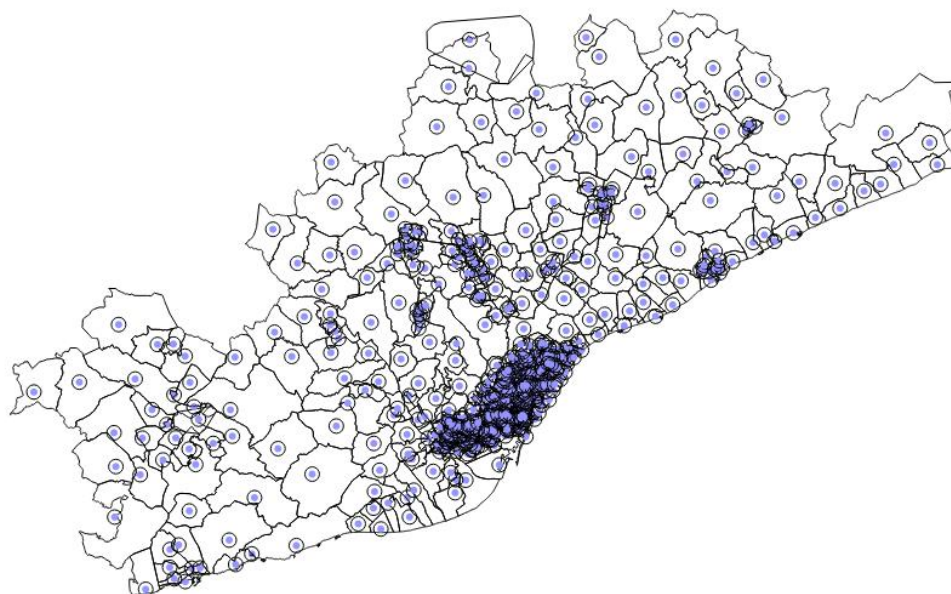
*Imagen 26.- Área de importación para el presente estudio representando la RMB*

### 5.5.2 Importación de la demanda. Colaboración con ATM

Otro de los inputs necesarios para generar nuestro modelo es la importación de la matriz de demanda. Gracias a la colaboración de la ATM en este proyecto, fue posible conseguir datos de movilidad de 2010<sup>5</sup> de toda la RMB donde se cuantificaban la cantidad de viajes diarios entre las diferentes áreas en las que dividen el territorio de análisis.

La ATM divide la Región Metropolitana de Barcelona en 582 zonas, describiendo para cada una de ellas el número de desplazamientos en transporte público, en vehículo privado y en modos no motorizados (a pie y en bicicleta principalmente) hacia el resto de áreas (incluida la misma). Así pues, el vector proporcionado tiene en cuenta las 338.724 relaciones posibles que se dan dentro únicamente de la RMB.

El siguiente paso consistirá en introducir estos datos en Aimsun. Para ello es necesario tener una red de centroides<sup>6</sup> en la red que haga de puente entre la codificación del software y la del vector en Excel. Es por eso que la ATM también proporcionó un archivo shapefile en el cual se representaban, mediante polígonos, las diferentes zonas en las que se divide el territorio. Una vez más, Aimsun, gracias a su versatilidad, permite la importación de este tipo de ficheros, haciendo posible la introducción de estos polígonos como centroides. El resultado final puede observarse en la siguiente imagen:



*Imagen 27.- Red de centroides de la RMB. Importación de archivo shapefile a Aimsun*

<sup>5</sup> En el presente proyecto se consideran extrapolables a la actualidad los datos de demanda proporcionados por la ATM del año 2010.

<sup>6</sup> Un centroide es una fuente y/o sumidero de vehículos. Se utilizan para definir matrices O/D, como puntos de origen y destino de los viajes.

Generados estos centroides, mediante la utilización de scripting, con lenguaje Python, se permitió importar la información de demanda en forma vectorial a matriz cuadrada de orígenes y destinos, generando dos diferentes: una matriz para vehículo privado y otra para transporte público.

### 5.5.3 Interacción entre modelo y demanda

Introducidos ambos inputs iniciales, geometría y demanda, debe realizarse el proceso de unión entre ambos que permita la generación del tráfico, a partir de la demanda, sobre nuestra red de carreteras importada. Para ello Aimsun proporciona la herramienta de “conexión entre objetos”. Recordemos que la información de demanda se registra sobre centroides, y que éstos se encuentran como polígonos, tal y como la ATM proporcionó con el archivo shapefile.

Simplemente relacionando secciones con esta herramienta de conexión, se permite la interacción entre geometría y demanda:

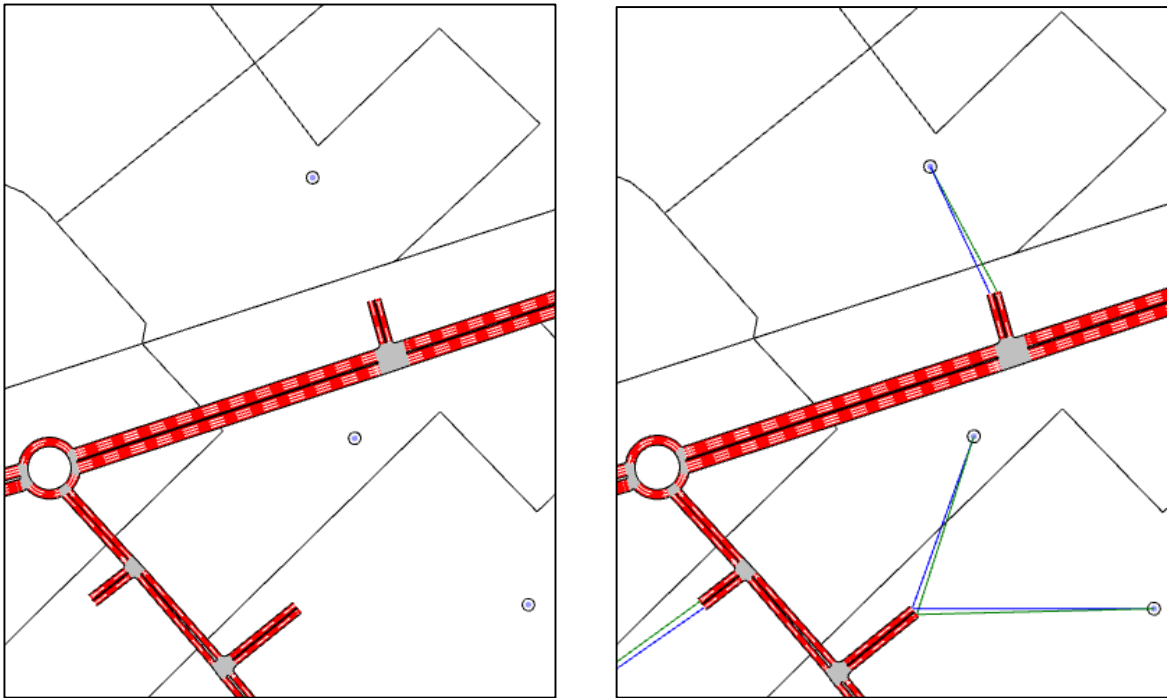
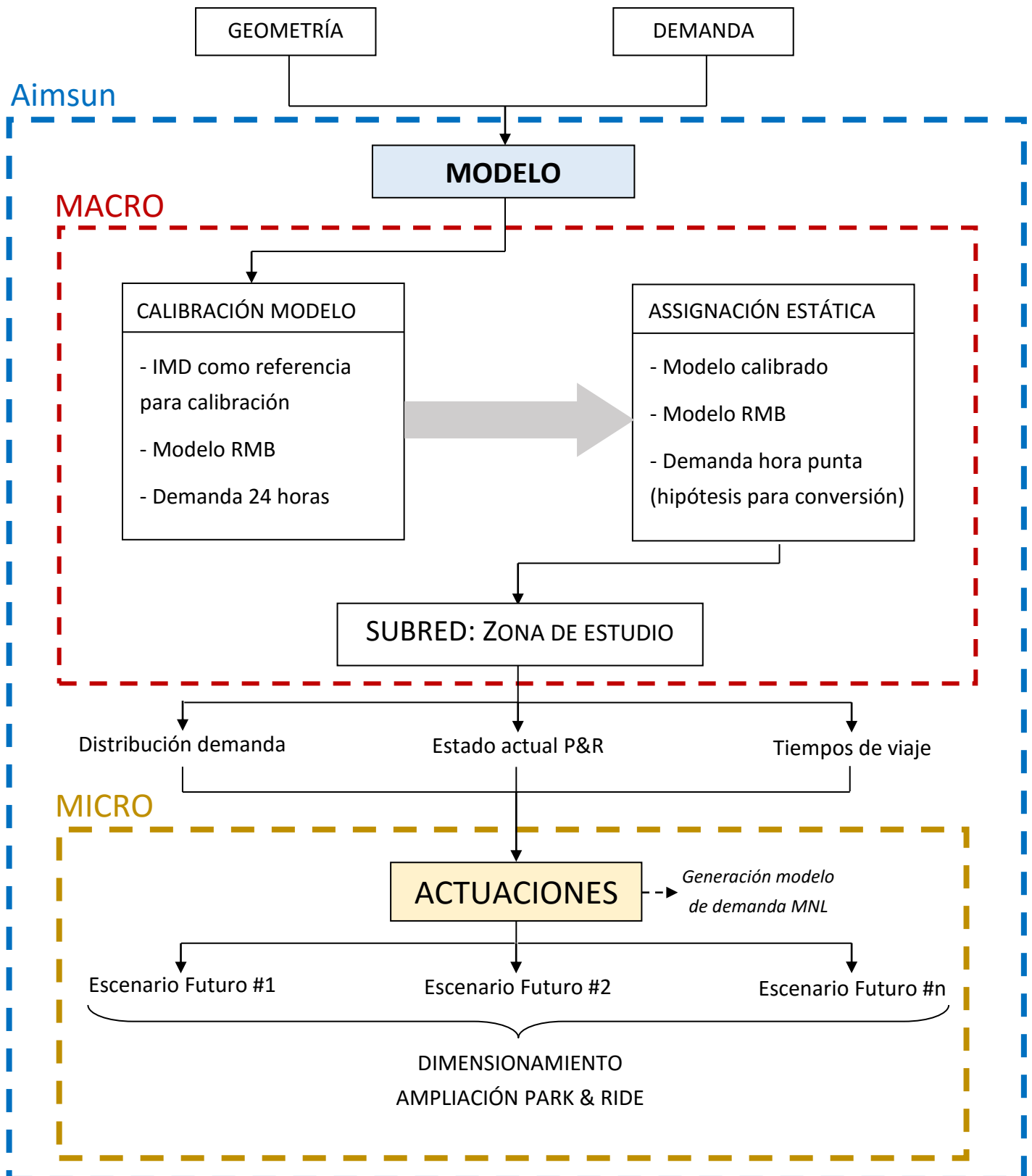


Imagen 28.- Introducción de conexiones entre la geometría y los centroides del modelo

## 5.6 Heurística del estudio mediante simulación





## 6. Calibración de la RMB. Estudio MACRO

---

### 6.1 Objetivos

Como se ha comentado previamente, existen diferentes niveles de simulación de tráfico en función del punto de vista tomado y la cantidad de detalle que se tenga en cuenta. Para el presente estudio se utilizarán dos niveles diferentes de simulación, la simulación macroscópica y la simulación microscópica.

El primer nivel a utilizar es el correspondiente al de la modelización macroscópica. Antes de focalizarnos en la zona de Mollet del Vallés y alrededores, con el objetivo de analizar los efectos generados por la ampliación del Park & Ride según un conjunto de actuaciones, debe analizarse la distribución de la demanda en el conjunto de la RMB. Con ello se pretende establecer un estado inicial de tráfico que servirá como base de comparación para el conjunto de escenarios futuros generados.

Este modelo macroscópico pretenderá representar el estado actual de la red de carreteras en hora punta a partir de la asignación de la demanda sobre el conjunto de vías generadas sobre el modelo. Así se permitirá representar la congestión actual en los corredores de acceso de Barcelona y el corredor transversal de la AP-7, habilitando la cuantificación y la cualificación de la movilidad de cada uno de ellos. Con ello, se pretenden obtener tiempos de viaje medios en estos corredores en los periodos horarios más delicados del día. La finalidad de esto, es permitir realizar una comparación entre los tiempos de acceso a Barcelona en transporte público y los tiempos en condiciones de congestión.

Sin embargo, para llegar a este punto, será necesario asumir un amplio conjunto de hipótesis tanto en aspectos relativos a la geometría importada, tanto en la demanda diaria proporcionada por la ATM, ya que las grandes dimensiones de estudio se precisa generar un modelo simplificado que únicamente acote los aspectos más limitantes y de interés de nuestro modelo.

## 6.2 Fundamentos matemáticos de la simulación Macro

Los modelos de asignación de tráfico estáticos se utilizan para estimar los volúmenes de tráfico en una red para un período de tiempo, es decir, cómo los viajes dados por una matriz OD o una demanda de tráfico se extenderán a través de la red.

Aimsun proporciona al usuario cinco métodos diferentes de asignación de tráfico:

- Asignación Todo o Nada
  - Asignación Incremental
  - Asignación MSA
  - Método Frank & Wolfe
  - Asignación estocástica
- $\left. \begin{array}{l} \text{Asignación Todo o Nada} \\ \text{Asignación Incremental} \\ \text{Asignación MSA} \\ \text{Método Frank \& Wolfe} \end{array} \right\} \text{Determinísticos (4)}$   
 $\left. \begin{array}{l} \text{Asignación estocástica} \end{array} \right\} \text{Estocásticos (1)}$

Para el presente estudio, se utilizará el método Frank & Wolfe para obtener la asignación en equilibrio del tráfico. Este método está basado en el principio óptimo del usuario de Wardrop: ningún usuario puede mejorar su tiempo de viaje cambiando de ruta.

El problema del equilibrio de Wardrop se formula como sigue [10]:

$$\min z(x) = \sum_{ij} \int_0^{x_{ij}} t_{ij}(u) du$$

$$s. a. \quad D(j, s) + \sum_{ij} x_{ij}^s = \sum_{ij} x_{jk}^s, \quad s = 1, 2, \dots, p$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$j \neq s$$

$$x_{ij}^s \geq 0$$

Donde:

- n = número de nodos en la red vial
- p = número de orígenes y destinos en la red
- $x_{ij}$  = flujo total en el arco (i,j)
- $x_{ij}^s$  = flujo del arco (i,j) con destino s
- $t_{ij}$  = Representa la relación entre el flujo y el tiempo de viaje del arco ij, representado la forma en que cambia el tiempo de recorrido con el flujo en el tramo
- $D(j,s)$  = El flujo que se origina en el nodo j con destino s

## 6.3 Hipótesis y simplificaciones asumidas

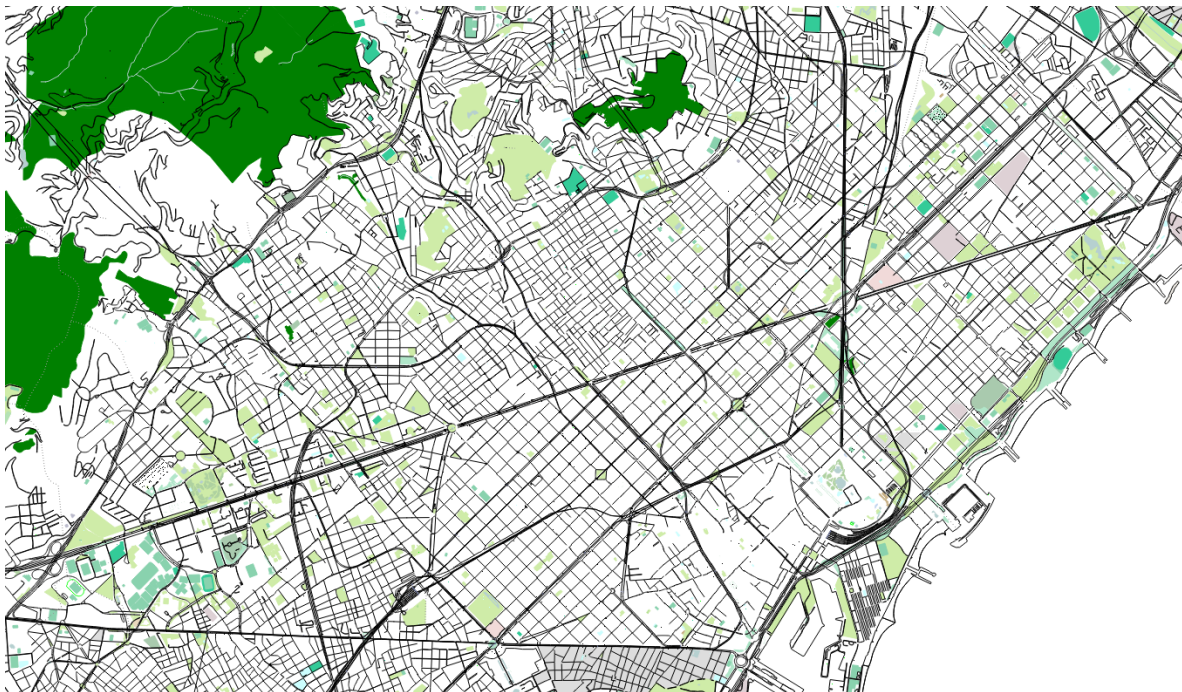
Con tal de facilitar y optimizar el proceso de simulación macroscópica, se han asumido una serie de simplificaciones e hipótesis sobre nuestro modelo. La idea parte de la necesidad de generar escenarios que permitan reducir el tiempo de cálculo necesario por el simulador. Paralelamente, éstas facilitarán la calibración del modelo a nivel macro y permitirán la visualización de un modelo más simple y comprensible.

### 6.3.1 Simplificación de la geometría

Las primeras simplificaciones que se adaptaron en el presente modelo tienen que ver con la geometría importada por OpenStreetMap. Este importador, como se comentó en el capítulo previo, permite la importación detallada de todas las vías que forman el territorio seleccionado, ya sea la red de carreteras como la red de ferrocarril.

Sobre esta red de carreteras importa todo tipo de vías clasificándolas en diferentes capas de visualización: autopistas, autovías, carreteras primarias, residenciales, de servicio, rutas, caminos, carriles bici, zonas peatonales, entre muchas otras. Este exceso de detalle proporciona un modelo de red viaria demasiado pormenorizado.

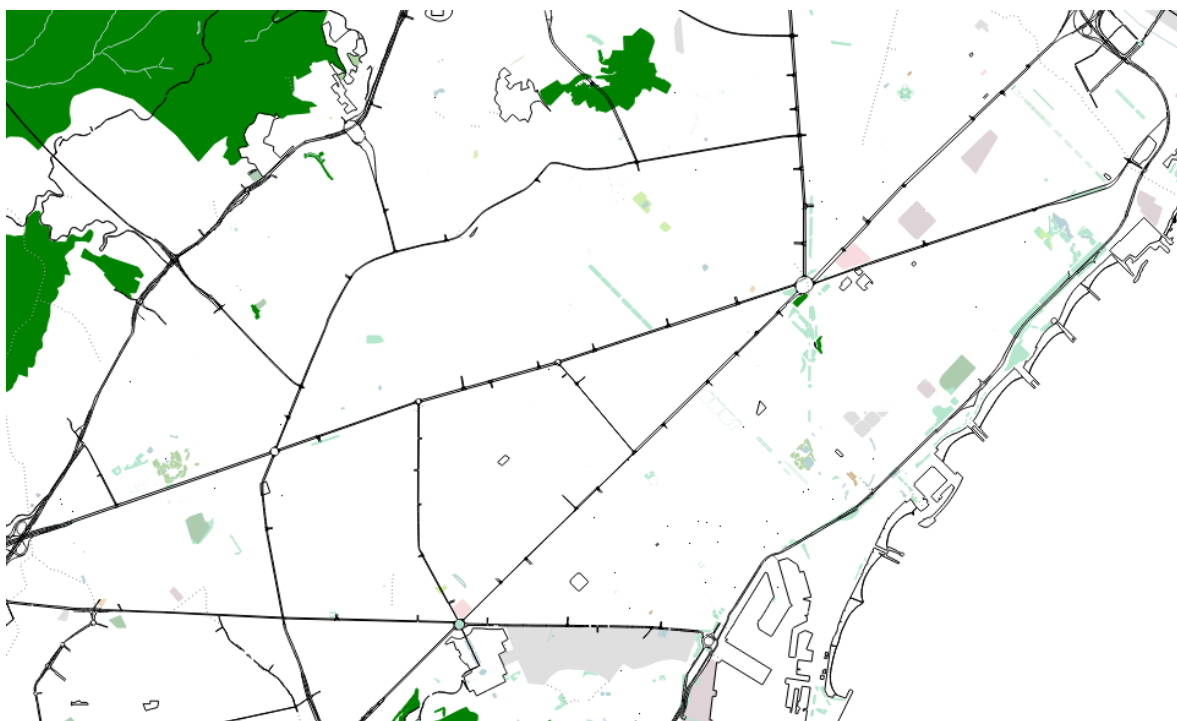
En la imagen siguiente puede observarse el nivel de detalle proporcionado por la importación inicial con OpenStreetMap:



*Imagen 29.- Imagen aérea de Barcelona tras la importación inicial, modelo pormenorizado*

Sin embargo, para este primer análisis a nivel macroscópico buscamos una red mucho más simplificada que concentre únicamente las vías primarias como autopistas, autovías y carreteras primarias. Igualmente algunas carreteras de menos importancia, como vías terciarias o residenciales, permanecerán con tal de asegurar la conectividad entre todas las regiones que tenemos en el modelo.

Para visualizar el impacto que esta simplificación tiene sobre nuestro modelo, comparemos la Imagen 29, que mostraba Barcelona recién importada, con la geometría resultante:



*Imagen 30.- Imagen aérea de Barcelona tras la simplificación de la red de carreteras*

Queda reflejada en la imagen anterior el tipo de simplificaciones adoptadas para el proyecto en cuestiones de geometría. En el Anexo 3 pueden observarse en detalle diversas zonas de interés donde se expone la comparativa entre el modelo recién importado y tras la reducción del número de secciones.

## 6.3.2 Hipótesis sobre la matriz de demanda original

### 6.3.2.1 Ocupación de los coches

La matriz de demanda original, prestada por la ATM, es una matriz que representa la movilidad por desplazamientos individuales, es decir por pasajero. Si se quiere analizar ésta sobre nuestro modelo, lo que debe tenerse en cuenta es el número de vehículos, por lo que se debe caracterizar la ocupación media de éstos.

Según datos de la EMO de 2006, la ocupación media de los modos motorizados es la siguiente:

Ocupació/Vehicle	Feiner	Cap de setmana i festiu
Cotxe	1,22	1,40
Moto	1,06	1,11

Imagen 31.- Ocupación media de los modos motorizados privados

Asúmase la hipótesis de que el 100% de nuestros viajes en transporte motorizado privado se realizan en coche. Siendo así, el número total de vehículos se obtiene de la siguiente forma:

$$N^{\circ} \text{ vehículos} = \frac{\text{Desplazamientos en veh. privado (pax)}}{\text{Ocupación (pax/veh)}} = 1,22 \text{ pax/veh}$$

Para este caso en particular, la demanda inicial generada por la matriz importada era de 5.614.361 desplazamientos diarios en vehículo privado motorizado. Si tenemos en cuenta la ocupación, la demanda final de vehículos en las 24 horas de estudio será de 4.601.935:

Demanda inicial (desplazamientos)	1.22 pax/veh	Demanda inicial (vehículos)
5.614.361	→	4.601.935

Tabla 4.- Variación de los desplazamientos totales si tenemos en cuenta la ocupación media de los vehículos

### 6.3.2.2 Factor de hora punta

La matriz importa original es de 24 horas sin ningún desglose horario, es decir, a priori el software la entiende como una matriz plana, uniforme para las 24 horas de simulación.

No obstante, la movilidad diaria sigue un perfil heterogéneo durante el día, generando las conocidas horas valle y horas pico. Es por eso, que si se quiere caracterizar la hora punta en nuestro modelo, deben aplicarse sobre la matriz factores de hora punta. El objetivo de estos factores es generar una matriz con demanda proporcional a la ocurrida en la hora pico, con tal de calibrar y evaluar la congestión producida con cierto rigor.

Analícese por ejemplo el perfil de demanda generado por la comarca del Vallés Oriental en un día laborable tipo:

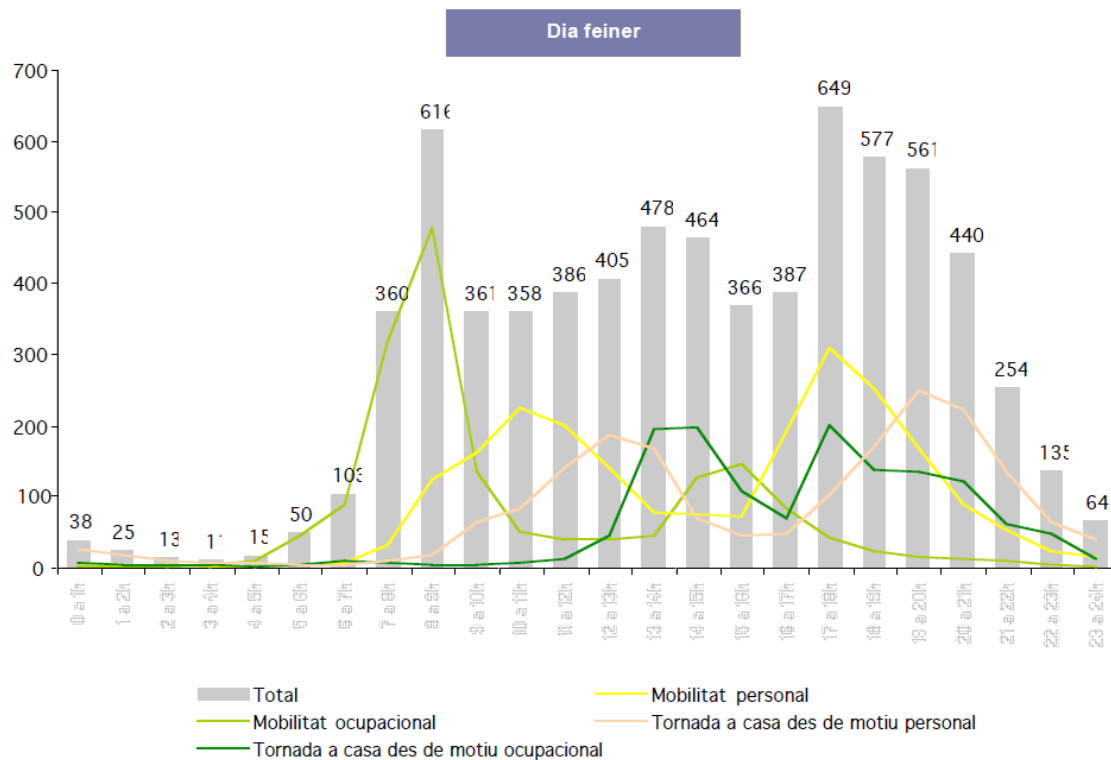


Gráfico 5.- Distribución horaria de los desplazamientos (en millares) según motivo en el V. Oriental (Fuente: EMO 2006)

Puede observarse como la demanda fluctúa en gran manera durante el día, generando una hora pico por la mañana, de 8 a 9h, donde se concentran la mayoría de los desplazamientos en las primeras horas del día. Por otro lado, durante la tarde, el fenómeno se repite aunque se concentra en más de una hora, de 17 a las 21h.

Así pues, para generar el factor de hora punta para la comarca del Vallés Oriental, debe cuantificarse el peso relativo de los desplazamientos en la hora punta de la mañana respecto la demanda total diaria:

$$FHP \text{ (en \%)} = \frac{\text{Demanda en hora punta}}{\text{Demanda total diaria}} \cdot 100$$

$$FHP_{V.Oriental} = \frac{616}{7116} \cdot 100 = 8.65\%$$

Podría aplicarse un factor de hora punta común para todo el modelo. Sin embargo, se utilizarán factores de hora punta diferentes para cada una de las 7 comarcas que se tienen en cuenta en el estudio.

Los valores utilizados para cada una se extraen de la misma forma que para la comarca del Vallés Oriental, es decir, a partir del perfil de demanda en día laborable mostrada en la EMO de 2006:

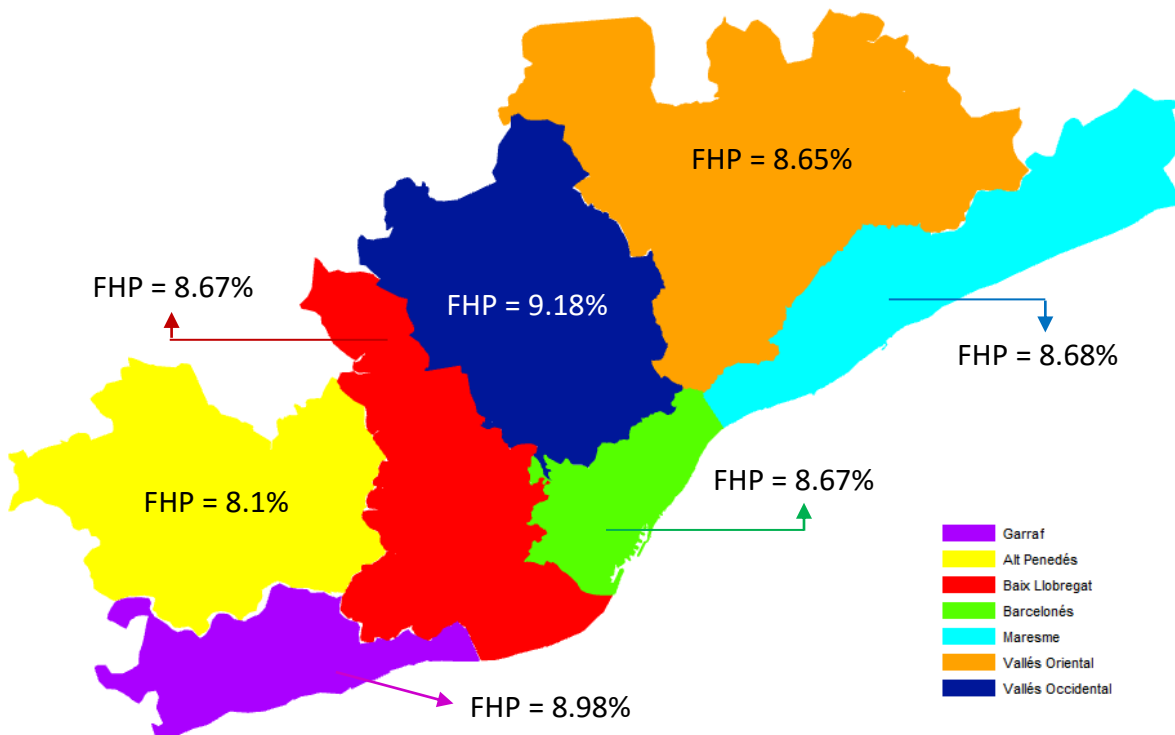


Imagen 32.- Factor Hora Punta (FHP) calculado para las diferentes comarcas de la zona de estudio

#### 6.2.3.4 Inclusión de viajes transversales

Como se ha reportado, la matriz importada por la ATM representa únicamente los viajes producidos entre áreas de la RMB. Es por ello que en las principales vías de la zona de estudio se pierde demanda que tiene origen o destino fuera de la RMB. Según la EMEF de 2006, 484 mil viajes diarios de conexiones se realizan entre la RMB y el resto del territorio catalán. Es por ello, que para realizar un correcto proceso de calibración, han sido añadidos viajes transversales principalmente por la AP-7 y A-2 donde se concentran la mayoría de desplazamientos que tienen como origen/destino zonas externas a nuestra área de estudio.

#### *6.3.2.4 Asimetría de los desplazamientos de entrada a Barcelona en hora punta*

Tras aplicar el conjunto de hipótesis enunciadas previamente, la matriz sigue conservando prácticamente su simetría. Con ello se entiende que la matriz considera que las salidas y las entradas a Barcelona en hora punta sufren demandas iguales, mientras es bien sabido que los principales problemas de congestión se localizan en las entradas a la ciudad condal. A pesar de tener congestiones también en la zona del Nus de la Trinitat con sentido Montcada, las rondas no acostumbran a estar tan congestionadas en los sentidos que dan salida de la ciudad condal.

Con tal de conseguir esta asimetría del tráfico, debe reducirse el número de viajes con origen en Barcelona, ya que estos generalmente ocurren en el período de la tarde. Es por ello que estos viajes se multiplicaran por un factor igual a 0.6, considerando que la movilidad de salida es igual al 60% de la movilidad de entrada.

#### *6.3.2.5 Viajes intramunicipales*

Debido a la reducción del número de secciones que conforman la geometría es posible que algunas poblaciones no tengan todas las vías internas que permiten modelizar de forma correcta los desplazamientos intramunicipales. A falta de estas vías, esto propicia la aparición de viajes adicionales sobre las carreteras de estudio, generando problemas de congestión aún mayores de los que realmente deberían.

Es por ello que los viajes internos dentro de un municipio durante la hora punta no son realmente de nuestro interés, ya que con la geometría definida, únicamente propiciarían el uso de vías no realistas entre conexiones intramunicipales. Para evitar este efecto, solo se tendrá en cuenta un 10% de los viajes ocurridos con origen y destino de un propio municipio, ya que es posible que existan relaciones que sí que se den por autopista. Por ejemplo, hablaríamos de viajes internos en grandes ciudades como Barcelona, donde parte de los viajes intramunicipales hacen usos de la B-10 o la B-20; o Sabadell y Terrassa con la C-58 como vía de soporte en desplazamientos internos de larga distancia.



#### *6.2.3.6 Cuantificación de autobuses*

A parte de la matriz de movilidad producida en vehículo privado, la ATM también proporcionó una segunda con el total de desplazamientos producidos en el área de la RMB con transporte público.

Esta matriz, con un total de cerca de 2,8 millones de desplazamientos, representa tanto los viajes en modos ferroviarios (tren, metro, tranvía), como autobús y taxi. Al pretender generar un modelo de la red viaria de la RMB, deben tenerse en cuenta también los desplazamientos en transporte público que hagan uso de esta red, por lo que los viajes en autobús deben importarse también sobre el modelo.

Según datos de la EMO de 2006, el 35% de los desplazamientos producidos en el área metropolitana se realiza a través de autobús, por lo que si traspasamos este porcentaje a desplazamientos individuales, obtenemos que diariamente cerca de 975.000 usuarios utilizan este modo de transporte colectivo.

Sin embargo, y de forma similar a lo ocurrido con el vehículo privado, debe hacerse la conversión de desplazamientos a vehículos sobre la red. En este caso, debe tenerse en cuenta la ocupación de un autobús, la cual se asumirá constante durante todo el trayecto e igual a 50 pasajeros/vehículo. El resultado muestra que durante el día dan cobertura sobre toda la RMB un total de 19.485 autobuses. Transferido a la hora punta, que para este caso se considerará un FHP constante para toda la matriz e igual al 9,5%, este modo viario será representado con 1.851 autobuses sobre nuestro modelo.

## 6.4 Calibración de la red

### 6.4.1 Funciones de costes utilizadas

Para realizar la asignación estática de vehículos sobre nuestro modelo es necesario definir para cada sección los costes que conlleva el paso por cada una de ellas, es decir, el coste, en tiempo, que demoraríamos en utilizar una vía desde su inicio hasta el fin.

Generalmente, los costes son representados según la demora que comporta atravesar la vía, y son obtenidos con funciones que tienen en cuenta parámetros como la velocidad y la longitud de la sección, la capacidad de la vía o el volumen asignado para cada iteración de cálculo. Estas funciones, llamadas Volume Delay Function (VDF), son proporcionadas directamente por Aimsun, que facilita a los usuarios un conjunto variado de funciones según del tipo de vía.

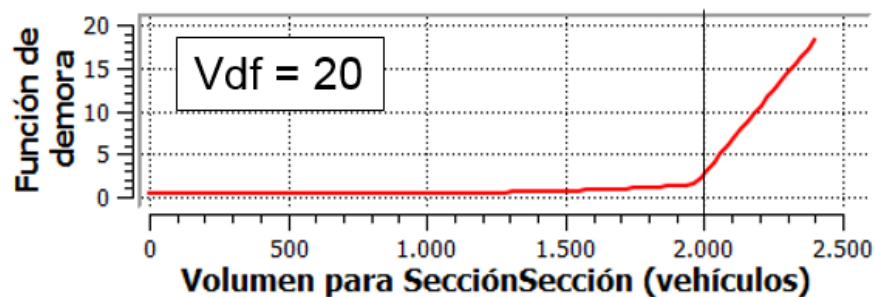


Imagen 33.- Ejemplo evolución de los costes de la VDF para sección con capacidad igual a 2000 veh/h

Paralelamente, las evaluaciones macroscópicas también utilizan otro tipo de funciones de costes como las TPF (Turning Penalty Function) para los giros o las JPF (Junction Penalty Function) para las intersecciones, representando así el coste asociado a los nodos del modelo. No obstante, al ser un análisis macroscópico donde se reflejan mayoritariamente autopistas y vías de alta capacidad, donde no existen intersecciones semaforizadas o cruces de prioridad dependiente, éstas serán despreciadas sobre nuestro modelo.

A pesar de tener a priori las VDF definidas y preparadas para los procesos de asignación de vehículos, en la red de estudio existe un parámetro que no se tiene en cuenta en estas funciones de costes, los peajes. Esta externalidad genera unos costes monetarios que deben ser traducidos a tiempo para el pasajero. Generalmente, las vías de peaje son menos atractivas para el usuario que busca diferentes alternativas para llegar a su destino sin tener costes añadidos. Es por ello, que debe añadirse un atributo a las funciones de costes sobre autopistas que permita reflejar el coste añadido de esta externalidad. Este

parámetro, será un factor clave para la calibración de la red, ya que en función del valor asociado permitirá mayor o menor flujo sobre las vías con peaje.

A continuación, en el apartado de calibración del modelo macroscópico, se detalla el proceso de calibración de este atributo entre muchos otros.

#### 6.4.2 Datos de referencia para calibración

Llegados a este punto, se podría perfectamente generar un análisis macroscópico y ver la asignación de tráfico que se produce sobre la red. No obstante, los resultados no tienen por qué mostrar intensidades de tráfico muy realistas. Para poder acreditar que la red es correcta y que en ella se representan el conjunto de costes de forma adecuada, debe realizarse un proceso de calibración.

Esta calibración tiene como objetivo la generación de un modelo que permita representar el estado actual de la red. Generalmente, este proceso se realiza con una comparación entre los valores asignados por el simulador y registros de detección que se han incluido sobre la red. Sin embargo, al no tener datos de detección se pierde esta posibilidad, que a priori es rápida y eficaz.

Así pues, de esta deficiencia a la hora de calibrar el modelo, surge la idea de realizar comparaciones con las Intensidades Medias Diarias (IMD) que soportan cada una de las vías. Estos datos se compararían con los resultados generados de una asignación macroscópica del tráfico con las matrices de 24 horas iniciales. La calibración consistiría en el ajuste de los costes para cada sección para hacer coincidir el tráfico asignado por el simulador con las IMD de cada una de las carreteras.

En las autopistas de peaje, como la C-33 o los túneles de Vallvidrera, es imprescindible la calibración del coste monetario que genera el peaje, ya que a priori es una vía que, si no tuviera externalidades, resulta demasiado atractiva para los usuarios. Es por ello, que sobre estas vías se encarecerán los tiempos de viaje necesarios para cruzarla, reduciendo la atraktividad de ésta y ajustándola a nuestros valores de referencia de demanda.

Las Intensidades Medias Diarias utilizadas como referencia para nuestro modelo, son las proporcionadas con fecha de 2013 por el Ministerio de Fomento español y el Departamento de Territorio de la Generalitat de Cataluña. En caso de no tener datos de alguna vía clave para el proceso de calibración, han sido utilizados datos de 2010.

A continuación se representan en una tabla el conjunto de valores utilizados para la calibración del modelo:

Corredor V. Occidental	IMD 2013
C-58 (acceso a Barcelona)	142912
C-58 (Norte)	83298
AP-7 / Sant Cugat	83842
B-30	65388
C-16	29843

Corredor V. Oriental	IMD 2013
C-33	51511
C-17 (acceso a Barcelona)	52631
AP-7 / Mollet	109467
AP-7 / Montmeló	99902
C-59 / Mollet	38960
C-59 (enlace AP-7)	51849
C-59 / Caldes de Montbui	26271

Corredor Maresme	IMD 2013
B-20 / Badalona	94127
C-31 / Badalona	72353

Corredor Garraf	IMD 2013
C-32 / Viladecans	96448
C-31 / El Prat	36570

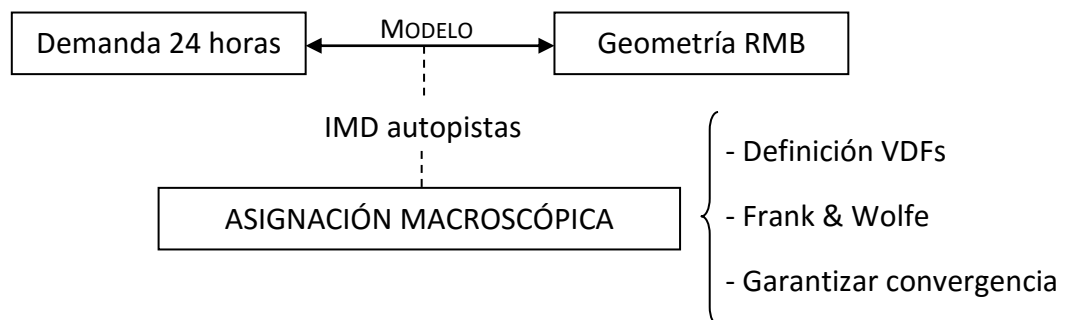
Corredor Baix Llobregat	IMD 2013
B-23 / El Papiol	106044
B-23 (acceso a BCN)	112653
A-2 (acceso a BCN)	136984

Barcelona	IMD 2013
B-10	112620
B-20	166000

Tabla 5.- IMD utilizadas para la calibración del modelo macroscópico de la RMB

#### 6.4.3 Escenario y Experimento de 24 horas

Para realizar la asignación de vehículos, es necesario generar un experimento sobre nuestro modelo. En él, debe definirse el método de cálculo realizado, que como ya se comentó corresponde al método de Frank & Wolfe. Asignadas las matrices de demanda, las de 24 horas para el primer proceso de calibración, únicamente se requiere el número necesario de iteraciones para la simulación, que en este caso, con tal de asegurar la convergencia, será de 350.



#### 6.4.4 Resultados

Tras un largo y complejo procedimiento de calibración manual de nuestro modelo, el resultado obtenido puede observarse en la siguiente regresión:

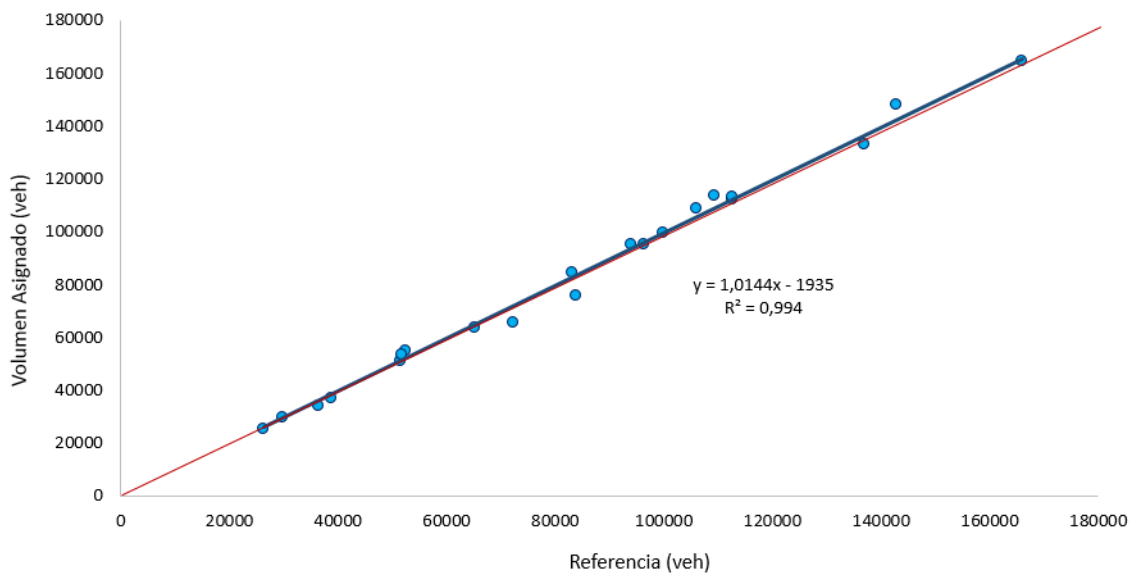


Gráfico 6.- Comparación entre los resultados obtenidos y los datos de referencia para la calibración

Concluyese finalmente el proceso de calibración del modelo de la RMB tras comprobar la perfecta definición sobre nuestra red de los flujos diarios.

## 6.5 Asignación estática de vehículos para la hora punta

### 6.5.1. Escenario y Experimento para la hora pico

El objetivo principal de nuestro proyecto recae en el análisis de la demanda en la hora punta. Es por ello, que una vez calibrados los costes de todas las vías que conforman nuestra área de estudio, se procede al experimento macroscópico que permitirá representar la congestión producida en la hora pico de la mañana.

Utilizando las matrices de 8 a 9h de la mañana, generadas a partir del conjunto de hipótesis explicitado anteriormente, se procede a realizar el mismo procedimiento utilizado para la calibración, es decir, la generación de un experimento dentro de Aimsun que nos permita realizar la asignación de estática de vehículos.

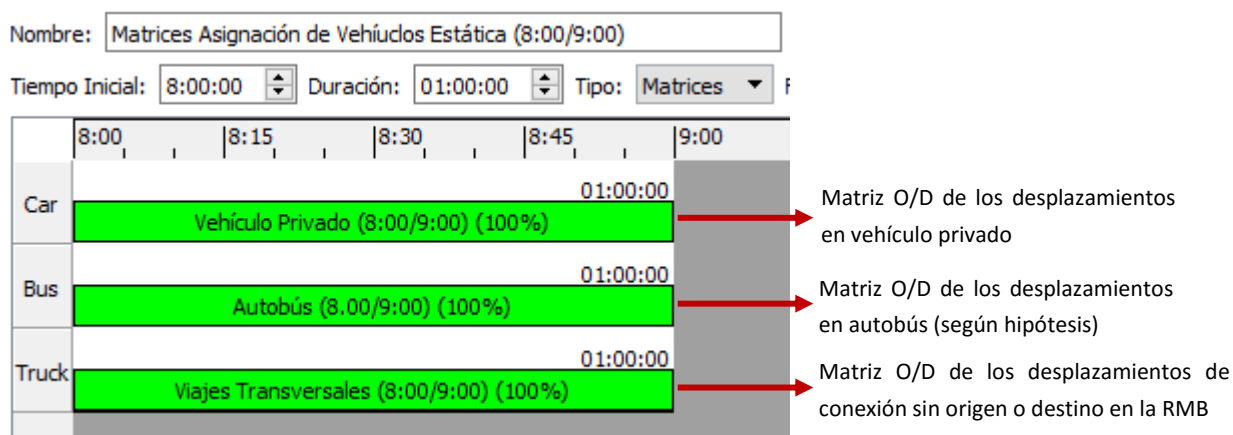


Imagen 34.- Matrices de demanda utilizadas para la asignación estática en hora punta

Siguiendo la experiencia del caso anterior, el presente experimento también será realizado con 350 iteraciones.

A continuación se muestra mediante imágenes el resultado obtenido, representado el flujo de vehículos por cada uno de los corredores que conforman la RMB. En el **Anexo 4** se muestran más imágenes detallando los resultados de la asignación estática de vehículos.



### 6.5.2 Resultados



*Imagen 35.- Resultados de la Asignación Estática de Vehículos en hora punta*

## 7. Estado actual y actuaciones sobre la zona de estudio

---

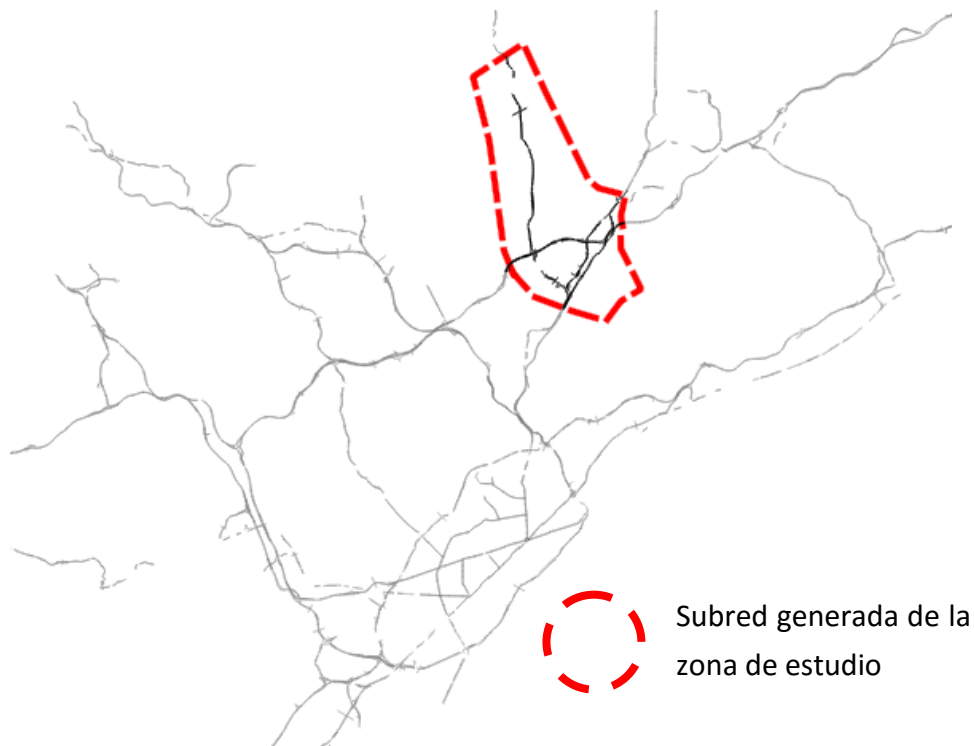
### 7.1. Generación de subred de estudio

#### 7.1.1 Definición de los límites de la subred

Realizada correctamente la asignación macroscópica de vehículos sobre nuestra red para el período de hora punta, es clave definir la zona de estudio. Esta zona representará el conjunto de municipios sensible a nuestras actuaciones sobre el aparcamiento disuasorio de la estación de Mollet Sant Fost. Teniendo en cuenta que los principales focos de atracción son los municipios de Caldes de Montbui, Palau Solità i Plegamans y Santa Perpetua de la Mogoda, se genera esta subred siguiendo el eje de la C-59.

Al mismo tiempo deben mantenerse la estructura de los ejes vertebradores del territorio como la AP-7, la C-33 y la C-17 permitiendo una correcta y clara definición de sus entradas y sus salidas de la subred.

Siguiendo estos patrones, la subred generada para el proyecto es la siguiente:



*Imagen 36.- Área definida para la subred de estudio*



### 7.1.2. Generación Transversal Estática

Con tal de obviar lo sucedido fuera de la RMB y poder focalizar el estudio en nuestra subred, permitiendo una mejor percepción de las actuaciones, se procede a generar una transversal estática. Este procedimiento tiene como objetivo generar una nueva red de centroides donde únicamente se tengan en cuenta los viajes generados en la nueva subred, generando consecuentemente unas matrices nuevas.

Así pues, la transversal requiere como input los resultados previos del experimento estático de la red global con tal de proveer unos nuevos datos de demanda de la subred. Esta transversal generara una nueva configuración de centroides, con un centroide en todas las entradas y salidas de la red además de contener los propios centroides internos del modelo original. Al generarla, esta crea automáticamente un conjunto de matrices O/D ligadas a la nueva distribución de centroides con los viajes internos (con origen y destino en la subred) y los viajes externos (con origen y/o destino fuera de la subred).

Para entender mejor el proceso de generación de transversal estática, Aimsun proporciona el siguiente ejemplo [11]:

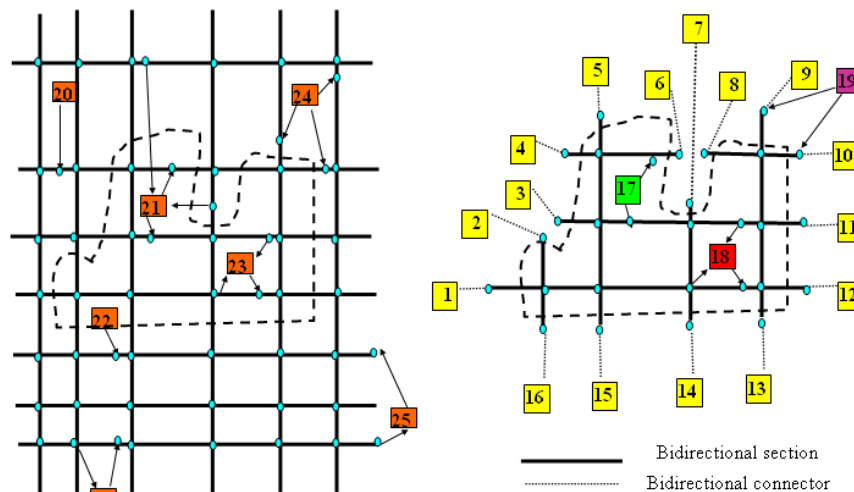


Imagen 37.- Definición de subred y su correspondiente configuración de centroides nueva

**Centroide 17** → Conserva sus conexiones con las secciones totalmente dentro de la subred y descarta las conexiones a las secciones que en su totalidad quedan fuera de la subred.

**Centroide 18** → Mantiene todas las conexiones al todas sus secciones.

**Centroide 19** → Conserva sus conexiones con secciones que están vinculados a un nodo dentro de la subred.

## 7.2 Competitividad actual entre modos

Debe analizarse la competencia modal producida para los dos corredores de estudio. En cada uno de ellos se tomarán como referencia las localizaciones más demandadas de la zona (con mayor potencial de atracción) y se comparará el reparto modal actual estimado y los tiempos de viaje en hora punta para cada medio de transporte.

Se tendrán únicamente en cuenta los tiempos en hora punta porque es a estos desplazamientos a los cuales se pretende atraer con el aparcamiento disuasorio, ya que fuera de estos periodos los tiempos de viaje sin congestión son siempre notablemente mejores en vehículo privado.

### 7.2.1 Relación Vallés Oriental y Vallés Occidental

Como ya se analizó previamente en el apartado 2.2.1 Conexión entre Vallés Oriental y Occidental, el reparto modal actual está claramente condicionado por el servicio que ofrece cada modo. Teniendo en cuenta la cobertura y el nivel de eficiencia del servicio ferroviario, es obvio que la mayoría de viajes ser realicen a partir del vehículo privado a pesar de tener problemas de congestión en la B-30 y la C-58 sentido Sabadell y Terrassa. Es normal pues que el reparto modal actual este claramente predominado por los viajes en vehículo privado, llegando a obtener demandas residuales para el transporte público, un modo que probablemente solo es utilizado por aquellos usuarios que no tienen acceso al vehículo privado.

Así, el reparto modal entre las relaciones más destacables de la zona de estudio es:

		Cerdañola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
<b>Caldes de Montbui</b>	Veh. Privado	87.0%	90.8%	97.0%	90.6%	100.0%
	Autobús	12.8%	9.2%	3.0%	8.9%	0.0%
	Cercanías (R8)	0.2%	0.0%	0.0%	0.4%	0.0%
<b>Palau Solità i Plegamans</b>	Veh. Privado	97.8%	98.3%	98.7%	96.3%	100.0%
	Autobús	1.9%	1.7%	1.3%	3.2%	0.0%
	Cercanías (R8)	0.3%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%
<b>Santa Perpetua de la Mogoda</b>	Veh. Privado	97.2%	95.3%	99.0%	98.8%	100.0%
	Autobús	2.2%	4.7%	1.0%	0.9%	0.0%
	Cercanías (R8)	0.6%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%
<b>Mollet</b>	Veh. Privado	90.8%	91.7%	94.9%	96.5%	100.0%
	Autobús	7.1%	8.3%	5.1%	2.7%	0.0%
	Cercanías (R8)	2.1%	0.0%	0.0%	0.8%	0.0%

Tabla 6.- Reparto modal actual entre los municipios de estudio y los principales focos de demanda del Vallés Occidental

En el **Anexo 5.1** se muestra más detallado el conjunto de datos necesario para obtener el reparto modal mostrado. Además aparece el reparto modal del resto de municipios.

Véase como la relación entre la zona de estudio y Sabadell/Terrassa es nula con los servicios actuales altamente deficitarios de ferrocarril. Únicamente la relación con Cerdanola recibe demanda y generalmente esta se centra en los destinos a la Universidad Autónoma de Barcelona, muy probablemente debido al factor de imposibilidad de acceso al vehículo privado de estos usuarios.

Para entender pues el comportamiento modal representado en la tabla anterior, debe conocerse la diferencia entre los tiempos de viaje del ferrocarril y el vehículo privado para las relaciones anteriores.

Por un lado, los tiempos del vehículo privado se obtienen del escenario de simulación generado por Aimsun en el apartado macroscópico, ya que estos representarán la congestión tipo producida en las vías de acceso a los destinos analizados.

En cuanto a los tiempos medios de los usuarios de los servicios de cercanías RENFE, estos no se calculan únicamente conociendo el tiempo demorado en el interior del tren (IVTT), también se evalúa el tiempo de acceso medio a la estación para cada municipio de origen (AT), el tiempo medio de espera en la propia estación a la llegada de un tren (WT) y la demora producida por posibles transferencias dentro de la misma red de ferrocarril. De forma matemática queda simplificado como:

$$TTV = AT + WT + IVTT + Transfers (WT_i, IVTT_i)$$

Siendo:

TTV: tiempo total de viaje

AT: tiempo de acceso a la estación

WT: tiempo de espera medio a la llegada de un tren

IVTT: tiempo en el interior del tren

Para un caso simple, como la relación entre Mollet y la Universidad Autónoma de Barcelona, el tiempo de viaje total se calcula de la siguiente forma:

$$TTV_{Mollet-UB} = AT + WT_{R8} + IVTT_{R8}$$

Con:

AT: tiempo medio de acceso de los usuarios de Mollet del Vallés igual a 5 minutos

WT: la esperanza de espera a un tren. Frecuencia = 30 minutos → WT = 15 minutos

IVTT: según datos de cercanías RENFE, el desplazamiento demora 8 minutos

$$TTV_{Mollet-UB} = 28 \text{ minutos}$$

Para conexiones con mayor dificultad de acceso, como las que tienen destino en Sabadell o Terrassa, el comportamiento del usuario sigue el siguiente patrón (suponiendo que éste solo se mueve por la red de cercanías):

$$TTV_{Mollet-Sabadell} = AT + WT_{R8} + IVTT_{R8} + WT_{R7} + IVTT_{R7} + WT_{R4} + IVTT_{R4}$$

Con:

AT: tiempo medio de acceso de los usuarios de Mollet del Vallés igual a 5 minutos

WT<sub>R8</sub>: Frecuencia R8 = 30 minutos → WT = 15 minutos

IVTT<sub>R8</sub>: 8 minutos

WT<sub>R7</sub>: Frecuencia R7 = 20 minutos → WT = 10 minutos

IVTT<sub>R7</sub>: Conexión entre Cerdañola Universidad y Cerdañola, 3 minutos

WT<sub>R4</sub>: Frecuencia R4 = 8 minutos → WT = 4 minutos

IVTT<sub>R4</sub>: Conexión entre Cerdañola Y Sabadell Centro, 9 minutos

$$TTV_{Mollet-Sabadell} = 54 \text{ minutos}$$

**Hipótesis:** se considera que el usuario llega a su destino justamente al llegar a la estación. Esto contrarresta los altos costes que el vehículo privado tiene para acceder y aparcar en su destino.

Con esto llegamos a los siguientes tiempos de viaje para cada relación O/D:

		Cerdañola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
Caldes de Montbui	Veh. Privado	30.97	38.67	44.64	32.85	52.39
	Cercanías RENFE	42.00	68.00	78.00	47.00	66.00
	Comparativa	36%	76%	75%	43%	26%
Palau Solità i Plegamans	Veh. Privado	21.11	27.76	33.73	22.99	42.25
	Cercanías RENFE	35.00	61.00	71.00	40.00	59.00
	Comparativa	66%	120%	110%	74%	40%
Santa Perpetua de la Mogoda	Veh. Privado	20.61	27.19	33.06	22.49	43.36
	Cercanías RENFE	31.00	57.00	67.00	36.00	55.00
	Comparativa	50%	110%	103%	60%	27%
Mollet	Veh. Privado	20.53	27.11	32.98	22.41	44.19
	Cercanías RENFE	28.00	54.00	64.00	33.00	52.00
	Comparativa	36%	99%	94%	47%	18%

Tabla 7.- Comparativa entre tiempos de viaje para los diferentes modos y para cada una de las relaciones estudiadas

En el **Anexo 5.2** se muestra más detallado el resto de municipios de menor importancia pero también analizados.

Parece francamente complicado generar atracción al transporte público de usuarios que utilizan el vehículo privado actualmente. Igualmente, con tal de analizar la robustez del vehículo privado en estas rutas, se tendrá en cuenta el comportamiento de la demanda sujeto a diversas actuaciones que afecten a la cobertura actual de la R8 y R4 de cercanías.

### 7.2.2 Relación Vallés Oriental y Barcelonés

La segunda relación, y la más importante en volumen de demanda, es la producida entre el Vallés Oriental y el Barcelonés. En este caso el modo viario encuentra un competidor más atractivo, la R2, que como se describió anteriormente, ya aporta un servicio bastante eficiente, aunque mejorable.

El reparto modal actual resulta ser el siguiente:

		Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
<b>Caldes de Montbui</b>	Veh. Privado	91,0%	84,0%	92,1%	78,7%	92,6%
	Otros TP	8,6%	15,3%	7,5%	20,3%	7,1%
	Cercanías (R2)	0,4%	0,8%	0,4%	1,0%	0,4%
<b>Palau Solità i Plegamans</b>	Veh. Privado	96,5%	92,4%	88,0%	87,4%	93,8%
	Otros TP	3,1%	6,8%	10,8%	11,3%	5,6%
	Cercanías (R2)	0,3%	0,7%	1,2%	1,2%	0,6%
<b>Santa Perpetua de la Mogoda</b>	Veh. Privado	96,8%	94,4%	89,5%	87,7%	95,4%
	Otros TP	2,7%	4,9%	9,0%	10,6%	4,0%
	Cercanías (R2)	0,4%	0,8%	1,5%	1,6%	0,6%
<b>Mollet</b>	Veh. Privado	60,0%	60,8%	47,4%	55,2%	61,5%
	Otros TP	0,1%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%
	Cercanías (R2)	39,8%	39,0%	52,6%	44,7%	38,5%

*Tabla 8.- Reparto modal actual entre los municipios de estudio y los principales focos de demanda de Barcelona*

En el **Anexo 5.3** se encuentra el reparto modal con el resto de municipios.

Es de destacar el alto porcentaje de usuarios con origen en Mollet que eligen el ferrocarril para realizar sus desplazamientos. Esto demuestra la gran potencialidad de la línea R2 para los municipios colindantes de estudio, que actualmente muestran demandas residuales con volúmenes muy bajos hacia el ferrocarril.

Véase como a pesar de no tener cobertura real con el ferrocarril, los ciudadanos de estos municipios utilizan otros modos de transporte público para llegar a Barcelona. En este caso, el modo predominante es el autobús que en algunos casos llega a alcanzar demandas de hasta el 20%.

El presente proyecto tiene en cuenta principalmente la atracción generada por el transporte público al vehículo privado. No obstante, debe tenerse en cuenta también aquella atracción que se pueda producir desde otros modos de transporte público.

Si se considera la posibilidad de atraer demanda del autobús, debe categorizarse el tipo de usuario que utiliza este modo. Así pues, se dividirán en dos grupos los usuarios del autobús:

1. El usuario que tiene acceso a vehículo privado pero coge el autobús para evitar los problemas de congestión o bien porque la accesibilidad a su destino es complicada (tómese como ejemplo el acceso viario a plaza Cataluña).
2. El usuario que utiliza el autobús es porque no tiene otro modo que le permita desplazarse.

Dentro de estos grupos, únicamente los pertenecientes al primero podrán ser atraídos por el estacionamiento disuasorio. Debido a que no puede caracterizarse este comportamiento, asumiremos que el 20% de los usuarios del autobús pertenecen al primer grupo y el 80% restante al otro. Esto se hace para producir una atracción del autobús desde un punto de vista conservativo.

En cuanto a los tiempos de viaje entre los puntos de estudio, si se calculan de forma análoga al caso anterior, los resultados son los siguientes (**Anexo 5.4** datos completos):

		Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
<b>Caldes de Montbui</b>	Veh. Privado	35,66	42,97	55,05	59,97	48,87
	Cercanías RENFE	36,00	44,00	48,00	52,00	62,00
	Comparativa	1%	2%	-13%	-13%	27%
<b>Palau Solità i Plegamans</b>	Veh. Privado	30,95	38,21	50,06	54,54	43,39
	Cercanías RENFE	29,00	37,00	41,00	45,00	55,00
	Comparativa	-6%	-3%	-18%	-17%	27%
<b>Santa Perpetua de la Mogoda</b>	Veh. Privado	25,24	32,50	42,98	47,28	36,14
	Cercanías RENFE	25,00	33,00	37,00	41,00	51,00
	Comparativa	-1%	2%	-14%	-13%	41%
<b>Mollet</b>	Veh. Privado	25,16	32,42	42,90	47,20	36,06
	Cercanías RENFE	22,00	30,00	34,00	38,00	48,00
	Comparativa	-13%	-7%	-21%	-19%	33%

Tabla 9.- Comparativa entre tiempos de viaje para cada modo y para cada una de las relaciones de Barcelona

Los tiempos en autobús no se reflejan al ser muy poco competitivos. Así pues, los usuarios del autobús que pertenecen al grupo 1 serán directamente atraídos por el ferrocarril al realizar cualquier mejora en el aparcamiento disuasorio de Mollet Sant Fost.

## 7.3 Estado actual del P&R en Mollet Sant Fost

Para el presente estudio, es imprescindible tener una buena definición del estado actual del aparcamiento disuasorio de la estación de Mollet Sant Fost. Con ello no únicamente se pretende calcular la capacidad y la ocupación diaria del aparcamiento, si no se requiere la caracterización de todas las llegadas que se producen en él, definiendo principalmente el origen del usuario del aparcamiento y la repartición horaria de llegadas que se produce en él.

Además, y por primera vez, se establecerá la zona por donde se pretenderá ampliar el aparcamiento disuasorio en caso de ser necesario.

Por último se mostrará la introducción del aparcamiento disuasorio sobre nuestro modelo de simulación a partir de diferentes herramientas que proporciona el software Aimsun. El objetivo inicial, será analizar de forma visual el estado actual del aparcamiento y el comportamiento típico de los vehículos.

### 7.3.1 Capacidad y ocupación media del aparcamiento actual

Como se comentó previamente en el apartado 4.2.3 Mollet – Sant Fost, donde se mostraban las principales características del aparcamiento disuasorio de Mollet, el actual Park & Ride se caracteriza por estar definido en dos zonas, una de baja capacidad y colindante al casco urbano de la ciudad, y otra con mayor número de plazas al otro lado de las vías y fuera del entorno del municipio.

Teniendo en cuenta que el primero, con capacidad aproximadamente de 50 plazas, no tiene acceso restringido a los usuarios de los servicios de cercanías, es decir, puede ser utilizado por los vecinos residentes en las proximidades de la estación, éste será obviado de nuestro análisis.

En cuanto al segundo, se estima que la capacidad máxima de éste es de 230 plazas. Sin embargo, según datos de la ATM [12], un total de 795 usuarios acceden a la estación en vehículo privado a partir de este P&R, generando un total de 650 vehículos diarios con entrada a éste (ya que la ocupación media de un vehículo se considera igual a 1.22 usuarios).

Queda claro que existe entonces un exceso de demanda que no se satisface con la oferta actual de aparcamiento, manifestando aún más la necesidad de ampliar el estacionamiento disuasorio actual, incluso sin tener en cuenta la posible generación de demanda.



Si consideramos que una misma plaza de aparcamiento está ocupada al día por 2 vehículos diferentes de media, significa que el aparcamiento realmente puede dar cobertura a 460 usuarios aproximadamente, por lo que el resto, 190, se ve obligado a aparcar en las proximidades de la estación.

Este fenómeno se puede observar diariamente y el resultado genera una larga fila de vehículos en la calle que da acceso al estacionamiento como se puede observar en la imagen adjunta:



*Imagen 38.- Imagen del P&R actual mostrando su alta ocupación actual*

Hasta 100 vehículos en hilera se contabilizan en la calle que da acceso al estacionamiento disuasorio, llegando a aparcar a 350 metros de la entrada a la estación.

Queda claro pues el exceso de demanda existente y deja al descubierto el alto grado de potencialización del P&R en esta estación. No obstante, antes de atraer demanda de otros municipios, es obvio que es necesario una ampliación del aparcamiento actual. Una ampliación que con seguridad generaría aún más demanda sobre el propio estacionamiento por el hecho de asegurar disponibilidad de aparcamiento a usuarios que actualmente no utilizaban el P&R por temor a no encontrar plaza.

### 7.3.2 Características de los usuarios

Como se analizó previamente, el aparcamiento de Mollet Sant Fost da también cobertura a las ciudades colindantes. Obviamente Mollet es el municipio de origen de la mayoría de los usuarios del P&R, no obstante, Martorelles, Santa María de Martorelles y Sant Fost de Campsentelles utilizan en relativa gran medida el aparcamiento disuasorio actual. Paralelamente, y en menor grado, los municipios de Caldes de Montbui, Palau-Solità y Plegamans y Santa Perpetua de la Mogoda hacen uso ya en la actualidad de este servicio.

A partir de los datos aportados por la ATM con la matriz de transporte privado de toda la RMB, se estima que el reparto de demanda por municipios sigue la siguiente distribución:

	Demanda de 24h
Caldes de Montbui	8
Palau-Solità i Plegamans	26
St. Perpetua de la Mogoda	53
Sant Fost de Campsentelles	151
Martorelles	71
Santa María de Martorelles	12
<b>Total externos</b>	<b>319</b>

*Tabla 10.- Reparto de la demanda con destino al aparcamiento disuasorio según municipio de origen*

Puede deducirse que el resto, 417, son los usuarios con origen en el propio municipio de Mollet.

### 7.3.3 Demanda horaria

Teniendo en cuenta el número de plazas del aparcamiento disuasorio, la capacidad máxima de vehículos que pueden aparcar en él es de 230. Alcanzado el máximo, los vehículos con destino a la estación de Mollet no tienen más remedio que aparcar fuera, en las calles que dan acceso al aparcamiento.

Para el presente estudio se supone que el perfil típico de entradas y salidas de demanda del aparcamiento disuasorio sigue el siguiente perfil:

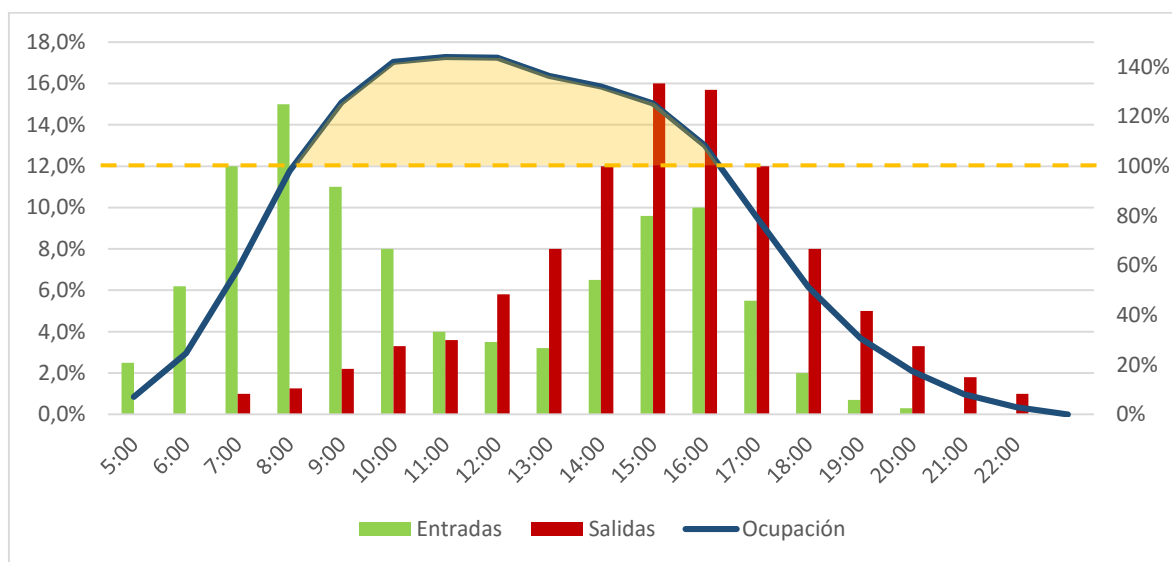


Gráfico 7.- Evolución horaria de la demanda de entrada y salida del P&R

Teniendo en cuenta el gráfico anterior, el aparcamiento queda completamente ocupado a partir de las 8:15 aproximadamente, quedando al 100% de ocupación durante cerca de 8 horas. Es a partir de entonces que los usuarios estacionan en las cercanías de la estación llegando a aparcar hasta a más de 300 metros de su destino final. Se contabilizan hasta más de 100 usuarios comprimidos en esas 8 horas que no tienen acceso al Park & Ride y que aparcan en las calles que dan acceso al aparcamiento.

Una vez más, se expresa un notable indicio de la necesidad de ampliación de este aparcamiento inclusive sin hacer ninguna actuación en él.

Estos altos niveles de ocupación manifiestan también la falta de atractividad del P&R para municipios colindantes a Mollet.

### 7.3.4 Zona de ampliación

Junto al estacionamiento disuasorio actual se encuentran los restos de la antigua Tenería Moderno Franco-Española fundada en 1897. Un patrimonio industrial para la ciudad de Mollet que en el año 2010 se vio obligada a ser demolida por problemas estructurales [13]. En la actualidad solo permanece la fachada, que colinda con los accesos viarios a la estación de Mollet Sant Fost y hace de efecto barrera ante posibles ampliaciones del aparcamiento.

Para el presente proyecto, la zona de ampliación recaerá sobre la antigua zona industrial que en caso de completa demolición permite tener disponibles más de 4 hectáreas. La siguiente imagen aérea muestra la gran explanada disponible:



*Imagen 39.- Imagen 3D de la zona de ampliación del P&R*

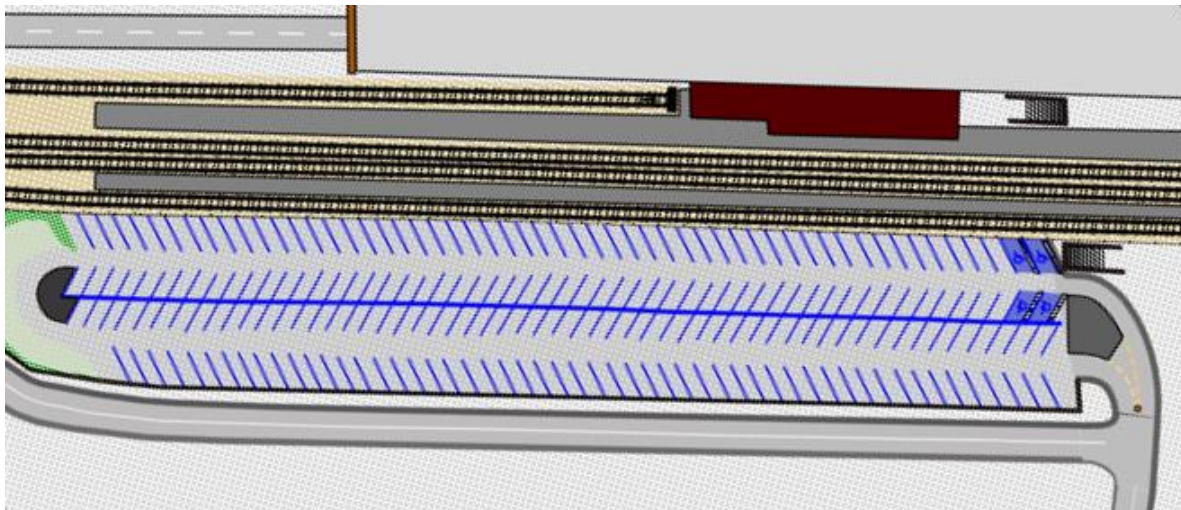


### 7.3.5 Introducción del P&R actual en Aimsun

Aimsun ofrece a los usuarios una extensión de la versión, a través de una API, que permite la inclusión de aparcamientos en nuestro modelo. Con esta herramienta se pretende simular a nivel microscópico el estado inicial del aparcamiento disuasorio.



API Park & Ride  
(Aimsun)



*Imagen 40.- Introducción del P&R en Aimsun. Comparativa entre la realidad y el modelo*

Posteriormente, en la zona donde se prevé la ampliación del P&R, si fuera necesario, se incluirán las nuevas plazas de parking dimensionadas con tal de absorber toda la demanda atraída en hora punta tras las actuaciones generadas.

## 7.4 Modelo *LOGIT MULTINOMIAL* de atracción de demanda

### 7.4.1 Teoría del modelo Logit Multinomial

Previamente a la definición del conjunto de actuaciones previstas en el siguiente estudio, debe definirse el pilar principal de este proyecto, el modelo de atracción de demanda. Este modelo matemático permitirá cuantificar el volumen de demanda atraída por las diversas actuaciones hacia el nuevo estacionamiento disuasorio.

Los principios utilizados para la generación de este modelo se basan en el modelo MNL (Multinomial Logit). Este método genera una regresión logística para problemas multiclase, es decir, con más de dos posibles resultados discretos. Se trata pues de un modelo que se utiliza para predecir las probabilidades de diferentes alternativas según las funciones de utilidad de cada una de ellas de acuerdo con la formula siguiente:

$$P_n(i) = \text{prob}(Y_n = i) = \frac{e^{V_{ni}}}{\sum_{j \in C_n} e^{V_{nj}}}$$

Siendo:

- $P_n(i)$  = la probabilidad de que la persona n elija la alternativa i
- $Y_n$  = el valor de la variable de respuesta para el individuo n
- $C_n$  = el conjunto de alternativas disponibles
- $V_{ni}$  = la componente que representa la utilidad de la alternativa i para el individuo n

La utilidad es representada como:

$$V_{nj} = A'X_n + B'Z_j + C'W_{nj} \quad j \in C_n$$

Donde:

- $U_{nj}$  = la utilidad de la alternativa j para el individuo n
- $X_n$  = vector de características del individuo n
- $Z_j$  = vector de atributos de la alternativa j
- $W_{nj}$  = vector de las interacciones entre las características del individuo n con los atributos de la alternativa j
- $C_n$  = el conjunto de alternativas disponibles
- $A, B, C$  = vectores columna de los parámetros del modelo
- $'$  = denota trasposición

#### 7.4.2 Creación y calibración de funciones de utilidad para cada modo

Teniendo en cuenta la forma que debe tener la función de utilidad, se procede a generar una para cada modo. Con tal de simplificarlas, en ellas se tendrá en cuenta únicamente el tiempo total de recorrido (descomprimiéndolo en acceso, espera en la estación y tiempo de viaje dentro del convoy) y un factor que penalice el modo más lento. Este último dependerá del modo, teniendo en cuenta la libertad de movimiento y confort que posee cada modo.

El resultado es el siguiente:

$$V_{ij,n} = A_{ij,n} \cdot \frac{x \cdot AT_{ij,n} + y \cdot WT_{ij,n} + z \cdot IVTT_{ij,n}}{TTV_{ij,m}} + B_{ij,n} \cdot \frac{TTV(AT, WT, IVTT)_{ij,n}}{TTV(AT, WT, IVTT)_{ij,m}}$$

Con:

$TTV_{ij}$  = representa el tiempo demorado entre el origen  $i$  y el destino  $j$  para el modo  $n$ .  
Desglosando este tiempo en tiempo de acceso, tiempo de espera y tiempo dentro del convoy.

$x, y, z$  = Peso relativo de cada una de las componentes que generan el tiempo total de trayecto. Así, se puede penalizar más una de las variables, permitiendo reproducir mejor cada una de las relaciones.

$A_{ij,n}, B_{ij,n}$  = parámetros que permiten la calibración del modelo para cada relación O/D

$n, m$  = modos de transporte

Teniendo en cuenta que el parámetro de utilidad se quiere obtener de forma adimensional, caracterizado por las propiedades de cada modo y el lugar de destino, el tiempo total de recorrido debe también transformarse en un parámetro adimensional. Para ello, como puede observarse en la ecuación anterior, el tiempo total de viaje de cada modo se divide por el del modo con el que compite.

Definida la estructura básica de estas funciones, estas deben calibrarse utilizando el equilibrio actual producido entre cada relación O/D. Es decir, cada uno de los parámetros o el peso relativo de cada uno de los términos en los que se divide el tiempo total de trayecto (acceso, espera, viaje) dependen para cada relación origen-destino, por lo que tendrán una ponderación diferente.

Esta ponderación depende de cada municipio de origen y cada destino y será obtenida según el equilibrio actual de la red, es decir, según el reparto modal existente en la actualidad con los tiempos de viaje actuales para cada modo.



Para entender el proceso de calibración del modelo MNL analícese concretamente el caso de Mollet del Vallés.

Como se ha comentado previamente, cada relación entre Mollet y los 5 puntos de estudio debe ser calibrada independientemente, teniendo en cuenta siempre el equilibrio actual producido.

Véase la relación Mollet del Vallés – Barcelona Avenida Meridiana (Clot):

Reparto modal	Coche	60.2%	Tiempos de viaje	Coche	25.16
	Tren	39.8%		Tren	22.00

Tabla 11.- Escenario actual de reparto modal y tiempo de viaje en la relación Mollet - Meridiana

Debe pues definirse una función de utilidad para cada modo de esta relación O/D que permita representar el reparto modal actual y caracterice correctamente la evolución de la demanda si existe alguna variación en los tiempo de viaje/confort de cada uno de ellos.

Finalmente, las funciones de utilidad definidas son las siguientes:

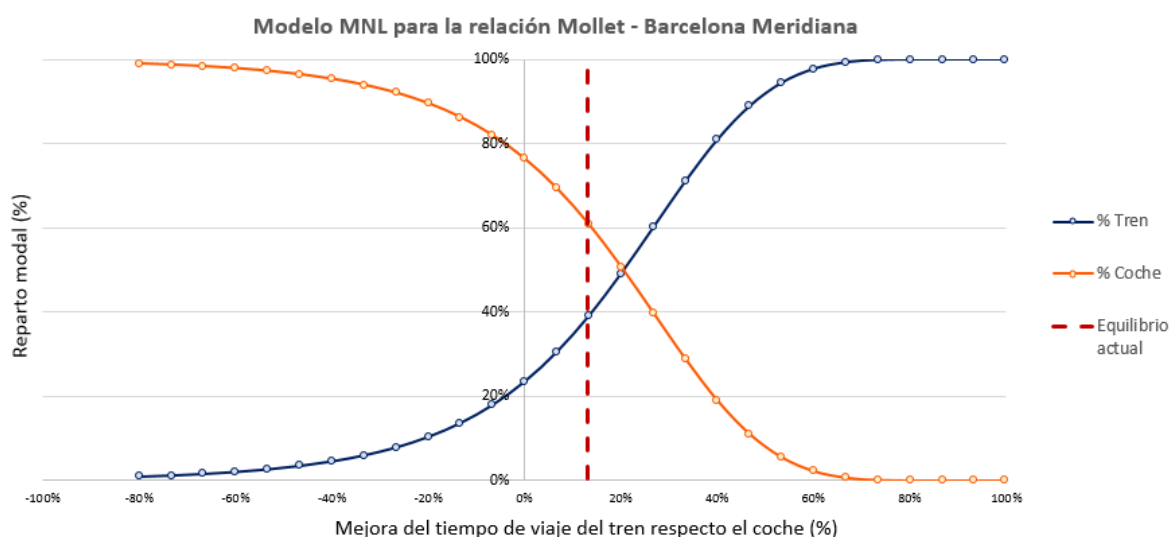
$$V_{tren} = -0.8 \cdot \frac{(0.6 \cdot AT + 1.2 \cdot WT + 2 \cdot IVTT)_{ij,tren}}{TTV_{ij,coche}} - 1.5 \cdot \frac{TTV_{ij,tren}}{TTV_{ij,coche}}$$

$$V_{coche} = -1.4 \cdot \frac{TTV_{ij,coche}}{(0.6 \cdot AT + 1.2 \cdot WT + 2 \cdot IVTT)_{ij,tren}} - 1.5 \cdot \frac{TTV_{ij,coche}}{TTV_{ij,tren}}$$

Obsérvese como en esta relación, lo que los usuarios priorizan mayormente es un servicio rápido en el ferrocarril que reduzca los tiempos demorados dentro del tren. También, aunque en menor grado, destacan la importancia de una buena frecuencia. Este parámetro será mucho mayor en la relación con el Vallés Occidental, ya que a día de hoy, si la línea tiene demanda bajas es fundamentalmente por los niveles deficientes actuales de este factor.

En cuanto al tiempo de acceso, las poblaciones que actualmente tienen cobertura, como Mollet, no mostrarán una ponderación muy elevada a este parámetro, ya que el motivo para no elegir el transporte público no es ese. Sí que será importante en las funciones de utilidad de los municipios del corredor de la C-59, ya que el factor que limita en la actualidad el uso del ferrocarril son los problemas que se encuentran para acceder a la estación.

Si tenemos en cuenta que las actuaciones solo van a alterar el nivel de servicio del transporte público, la función de utilidad de ambos modos únicamente dependerá de la mejora de los tiempos de trayecto del ferrocarril. Consecuentemente, la utilidad del ferrocarril mejorará y la coche empeorará generando un transvase de demanda hacia el transporte público. Este transvase producido sigue la siguiente tendencia según las funciones de utilidad definidas anteriormente:



*Gráfico 8.- Evolución del reparto modal en la relación Mollet – Barcelona Sagrera según el tiempo de viaje del tren respecto el coche según el modelo Multinomial Logit generado*

Se demuestra cómo, para la relación O/D comentada, se establece perfectamente el equilibrio actual, donde bajo condiciones de congestión (donde el ferrocarril es un 13% más rápido) el reparto modal es aproximadamente 40% para el tren y 60% para el coche.

## 7.5 Actuaciones

Con tal de atraer demanda del vehículo privado al transporte público, deben planearse un seguido de actuaciones. Con ello, se pretende romper el equilibrio actual mejorando los tiempos de viaje en transporte público, generando así una mayor atraktividad para utilizar este modo. En el conjunto de estudios desarrollados para cada actuación, únicamente se tendrán en cuenta los beneficios generados en hora punta, ya que es en este período donde el ferrocarril puede atraer a gran parte de los usuarios del vehículo privado, ya que debido a problemas de congestión existentes en la actualidad, los tiempos en coche se vuelven mucho menos competitivos que los del transporte público.

Seguidamente, se introducen un conjunto de mejoras divididas principalmente en tres bloques:

1. **Mejoras de acceso:** rompiendo así una primera barrera que permita generar atracción del vehículo privado al transporte público con los niveles de servicio actuales.
2. **Mejoras en los niveles de servicio de cercanías RENFE:** a pesar de que la R2 posee probablemente uno de los mejores servicios de la red de cercanías, existen diferentes propuestas que puedan mejorar aún el rendimiento de esta. Por otro lado, la R8 muestra un gran margen de mejora que será comentado a continuación.
3. **Mejoras en infraestructura ferroviaria e instalaciones:** con el objetivo de mejorar la cobertura entre el Vallés Oriental y el Vallés Occidental se introducirán diferentes propuestas entre las cuales se encuentra la creación de la llamada línea Orbital.

Cada una de las actuaciones que se van a tener en cuenta serán analizadas de forma individual e independientes del resto a no ser que se especifique lo contrario. De esta forma se podrá observar el beneficio que genera en la actualidad e intuir la potencialidad que podrían tener todas en conjunto.

## 7.5.1 Mejora de accesos a la estación

### 7.5.1.1 Descripción

Se ha observado en múltiples ocasiones como la principal barrera de atracción de demanda son los altos costes, en tiempo, que implica el acceso a la estación de Mollet Sant Fost desde las poblaciones de estudio (véase la Tabla 3).

Deben buscarse alternativas que permitan un acceso más cómodo de los usuarios que provengan del corredor de la C-59 garantizando mejoras de hasta el 25% en reducción de tiempo de acceso, permitiendo que el ferrocarril alcance ciertos niveles de competitividad con respecto al vehículo privado.

Para generar diferentes alternativas en el trazado que permita mejorar los accesos a la estación debe analizarse en detalle el estado actual de la zona de actuación. Para ello, analícese la .

Por una lado, actuar sobre la C-17, implicaría al fin o al cabo una actuación que permitiera superar el efecto barrera generado por las vías del tren, es decir, supondría un paso elevado o soterrado de grandes dimensiones que dejara atrás el trazado del ferrocarril para poder llegar al aparcamiento desde la C-17. Análogamente, cualquier actuación que quede en la zona noroeste de la vía del tren implicará unos costes de obra y unas dificultades de ejecución muy elevadas.

Sobre el eje de la C-33 es totalmente imposible actuar, ya que no existe una conexión que enlace la C-59 con la esta vía sentido norte. Esto implicaría dos obras necesarias, primero la que permitiera generar en enlace entre C-59 y C-33 sentido norte y una segunda que desde la C-33 enlace con alguna de las vías que den acceso al aparcamiento disuasorio.

A pesar de descartar las soluciones que a priori parecen más obvias, existe el escenario donde se enlace directamente de la C-59 a la calle que da acceso al Park & Ride (marcada en naranja en la ). Esta conexión, en caso de poder llevarse a cabo, evitaría los problemas de efecto barrera generados por el ferrocarril y proporcionaría una ruta relativamente rápida al aparcamiento disuasorio. Como contra, el espacio de actuación es relativamente comprimido, limitando así las posibles alternativas que se podrían barajar en el estudio.



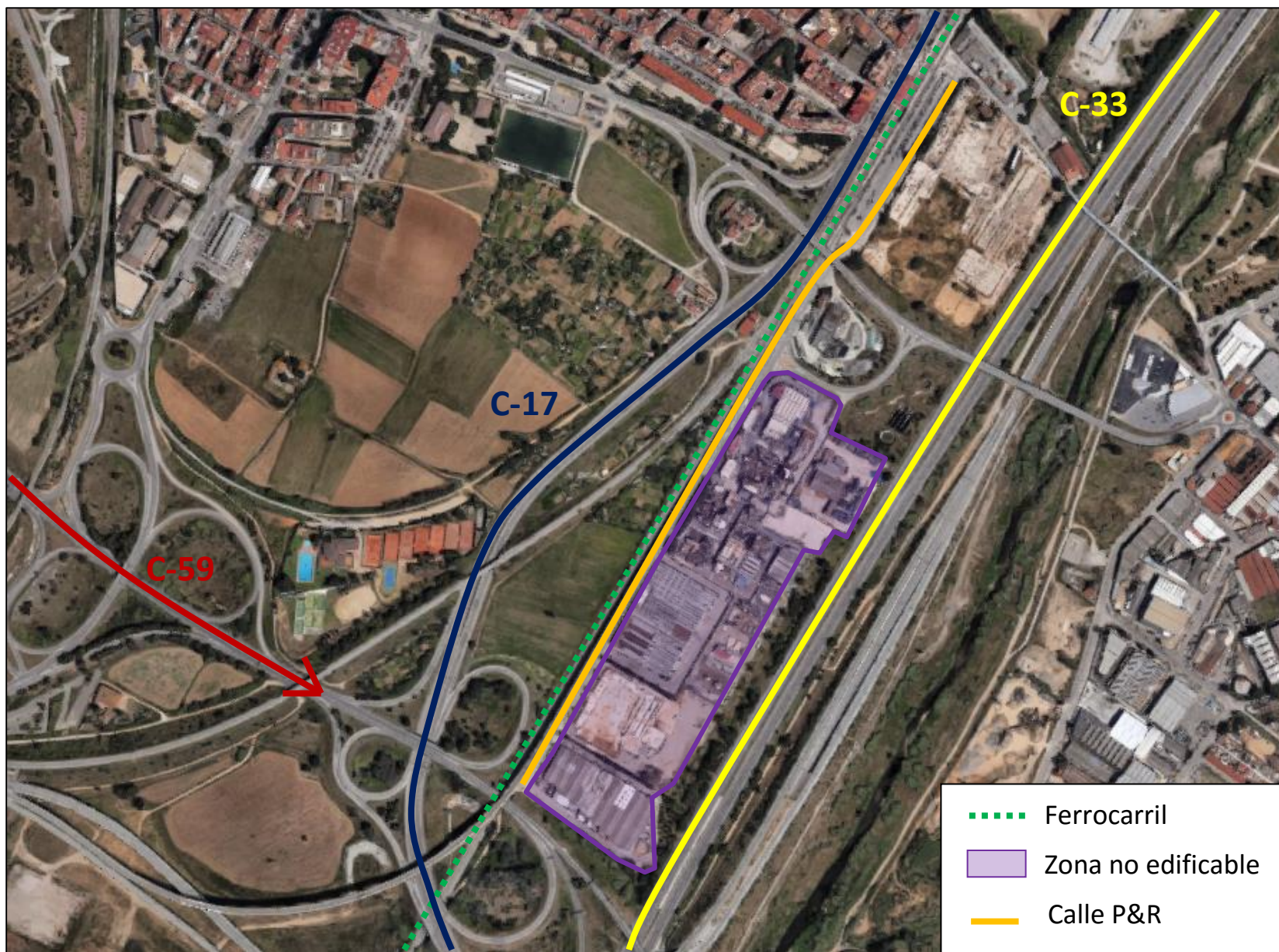


Imagen 41.- Imagen aérea de la zona de estudio con tal de analizar las posibles alternativas en la mejora de los accesos al P&R de Mollet Sant Fost



### 7.5.1.2 Propuesta de mejora

La propuesta presentada para el presente proyecto consiste en la creación de un enlace directo entre la C-59 y la calle de Bilbao (acceso a P&R). Este enlace aprovecha la orografía existente permitiendo crear una vía por debajo de la C-59 aprovechando el hueco que actualmente genera el ferrocarril. Concretamente en la siguiente zona:



*Imagen 42.- Situación orográfica de la zona donde se ejecutarán las mejoras en los accesos*

La mejora supondría la proyección de un nuevo enlace generado en el tramo final de la C-59 con longitud aproximada de 300 metros lineales. En cuanto a la calle de Bilbao, que da acceso al aparcamiento, debido a la falta de espacio existente, se mantendrá la estructura actual, con un carril para cada sentido y velocidad de 30 km/h.

En cuanto a las obras de fábrica necesarias para esta actuación, se necesitará realizar la ampliación del paso inferior existente en la actualidad y por el cual pasa la línea de cercanías.

En el Anexo 6 pueden observarse un conjunto de fotos del estado actual de la zona donde se prevé realizar la obra que permita la mejora local de los accesos a la estación de Mollet Sant Fost.

Si introducimos ésta mejora en Aimsun, el simulador genera la siguiente ruta de acceso al P&R:



*Imagen 43.- Introducción en Aimsun de la mejora en los accesos*

En cuanto al trayecto de vuelta de los usuarios del aparcamiento disuasorio con origen en los municipios que siguen el corredor de la C-59, en la actualidad existe una ruta posible y rápida que permite realizar el trayecto, por lo que no hace falta prever un estudio de mejora de los desplazamientos de salida.



### 7.5.1.3 Nuevos tiempos de acceso y de viaje tras actuación 1

Con esta mejora del trazado viario propuesta, y bajo las condiciones de tráfico típico, los nuevos tiempos de acceso a la estación proporcionados por Aimsun son los siguientes:

	Tiempos de acceso actuales	Nuevos tiempos de acceso	Mejora
Caldes de Montbui	19 minutos	12,5 minutos	34%
Palau Solità	12 minutos	7,3 minutos	39%
Santa Perpetua	8 minutos	4,5 minutos	43%

Imagen 44.- Nuevos tiempos de acceso al P&R de Mollet Sant Fost

Así pues, si procedemos a comparar los nuevos tiempos totales de viaje en transporte público y en vehículo privado para cada una de las relaciones de principal generación, los resultados son:

		Cerdañola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
Caldes de Montbui	Veh. Privado	30,97	38,67	44,64	32,85	52,39
	Cercanías RENFE	35,50	61,50	71,50	40,50	59,50
	Comparativa	15%	59%	60%	23%	14%
Palau Solità	Veh. Privado	21,11	27,76	33,73	22,99	42,25
	Cercanías RENFE	30,30	56,30	66,30	35,30	54,30
	Comparativa	44%	103%	97%	54%	29%
Sta. Perpetua	Veh. Privado	20,61	27,19	33,06	22,49	43,36
	Cercanías RENFE	27,52	53,52	63,52	32,52	51,52
	Comparativa	34%	97%	92%	45%	19%

Tabla 12.- Nuevos tiempos de viaje en las relaciones con el Vallés Occidental (Actuación 1)

		Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
Caldes de Montbui	Veh. Privado	35,66	42,97	55,05	59,97	48,87
	Cercanías RENFE	29,50	37,50	41,50	45,50	55,50
	Comparativa	-17%	-13%	-25%	-24%	14%
Palau Solità	Veh. Privado	30,95	38,21	50,06	54,54	43,39
	Cercanías RENFE	24,30	32,30	36,30	40,30	50,30
	Comparativa	-21%	-15%	-27%	-26%	16%
Sta. Perpetua	Veh. Privado	25,24	32,50	42,98	47,28	36,14
	Cercanías RENFE	21,52	29,52	33,52	37,52	47,52
	Comparativa	-15%	-9%	-22%	-21%	31%

Tabla 13.- Nuevos tiempos de viaje en las relaciones con el Barcelonés (Actuación 1)

Por un lado, la cobertura con el Vallés Occidental sigue siendo muy deficiente, por una parte por la mala frecuencia existente y por otro lado por la falta de conexión directa (e incluso semi-directa) del ferrocarril con las principales poblaciones de la comarca, Sabadell y Terrassa.

Muy diferentes es el escenario obtenido con las relaciones que se dan con el Barcelonés, donde se observa exitosamente una importante mejora en el tiempo total de viaje para cada una de las relaciones estudiadas.

Según diversos estudios, entre los cuales se encuentra el RACC, si las actuaciones que afectan a la red ferroviaria reproducen nuevos tiempos de viaje con un 20% menos de tiempo demorado que los tiempos de viaje en vehículo privado, la atracción de demanda puede considerarse elevada. Así pues, con esta actuación ya se pueden analizar interesantes atracciones de demanda.

Paralelamente, y como se estableció previamente en el apartado 7.2.2 Relación Vallés Oriental y Barcelonés, con estos nuevos tiempos de viaje aseguramos la atracción de un 10% de los usuarios que actualmente utilizan el autobús.

#### 7.5.1.4 Estimación de la demanda atraída del vehículo privado

Definida la actuación y analizadas las ventajas que ésta comporta sobre la cobertura al transporte público, se pretende observar la atracción generada desde el vehículo privado al ferrocarril. Para ello se utilizará el ya presentado modelo MNL calibrado para cada una de las relaciones de estudio. En este caso, teniendo en cuenta que esta actuación solo beneficia los municipios de Caldes de Montbui, Palau Solità i Plegamans y Sta. Perpetua de la Mogoda, el modelo deberá calibrarse para 30 relaciones diferentes, es decir, para cada una de las tres ciudades de estudio, se deberá reproducir el modelo con las 10 relaciones analizadas (5 correspondientes al Barcelonés y 5 al Vallés Occidental).

Este procedimiento genera los siguientes valores obtenidos de la función de utilidad para un escenario que represente los nuevos tiempos de acceso:

	Utilidad ferrocarril (Actuación 1)				
	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
Caldes de Montbui	-3.96	-3.41	-3.38	-3.32	-4.66
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	-4.18	-5.97	-6.00	-4.30	-4.88
Palau Solità i Plegamans	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	-3.45	-3.19	-3.84	-2.92	-5.36
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
Santa Perpetua de la Mogoda	-5.56	-8.60	-8.32	-6.46	-6.26
	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	-2.99	-3.22	-3.65	-4.01	-5.41
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	-6.75	-8.29	-8.09	-7.16	-5.82

Tabla 14.- Valores de utilidad del ferrocarril una vez aplicada la mejora en los niveles de accesibilidad

	Utilidad coche (Actuación 1)				
	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
Caldes de Montbui	-3.59	-2.92	-3.15	-2.91	-1.67
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	-1.57	-1.23	-1.22	-1.34	-1.71
Palau Solità i Plegamans	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	-3.10	-2.31	-2.90	-2.60	-2.06
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
Santa Perpetua de la Mogoda	-1.35	-1.21	-1.25	-1.45	-1.71
	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	-3.02	-2.80	-4.67	-5.08	-1.40
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	-1.48	-1.25	-1.28	-1.48	-1.80

Tabla 15.- Valores de utilidad del coche una vez aplicada la mejora en los niveles de accesibilidad

Con estas funciones de utilidad el nuevo equilibrio en hora punta se encuentra con los siguientes repartos modales:

		Nuevo reparto modal (Equilibrio Actuación 1)				
Caldes de Montbui	R2	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	% tren	30.4%	23.9%	23.4%	19.5%	2.9%
	$\Delta_{\text{demanda}}$ tren	29.9%	23.2%	23.0%	18.5%	2.5%
	R8	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	% tren	5.2%	0.5%	0.4%	3.5%	2.1%
	$\Delta_{\text{demanda}}$ tren	4.6%	0.5%	0.4%	3.0%	2.1%
Palau Solità i Plegamans	R2	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	% tren	25.6%	15.2%	18.3%	19.1%	2.4%
	$\Delta_{\text{demanda}}$ tren	25.3%	14.5%	17.2%	17.9%	1.8%
	R8	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	% tren	1.2%	0.0%	0.0%	0.9%	0.5%
	$\Delta_{\text{demanda}}$ tren	1.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.5%
Santa Perpetua de la Mogoda	R2	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	% tren	28.8%	20.2%	27.6%	25.9%	1.6%
	$\Delta_{\text{demanda}}$ tren	28.4%	19.4%	26.2%	24.2%	1.0%
	R8	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	% tren	0.9%	0.1%	0.1%	0.3%	1.8%
	$\Delta_{\text{demanda}}$ tren	0.3%	0.1%	0.1%	0.1%	1.8%

Tabla 16.- Reparto modal tras actuación 1 y atracción generada sobre el vehículo privado

Véase como el incremento porcentual del uso del tren ( $\Delta_{\text{demanda}}$ ) es casi igual al nuevo reparto modal, ya que, previamente a la actuación, nadie hacía uso del ferrocarril desde estos tres municipios estudiados. Así pues, se generan grandes volúmenes de usuarios atraídos del vehículo privado, demostrando el gran beneficio que supone para éstos la mejora de los accesos a una estación de ferrocarril.

En cuanto a la cuantificación exacta de la atracción de la demanda, recordemos que se supone como hipótesis que ésta únicamente se consigue de los viajes en hora punta, ya que fuera de ésta, los tiempos de viaje en vehículo privado siempre son más atractivos que el ferrocarril.

Así, el número total de usuarios atraídos gracias a esta actuación es el siguiente:

Atracción de usuarios (personas)					
Caldes de Montbui	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	6	5	9	4	1
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	1	0	0	0	0
Palau Solità i Plegamans	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	19	10	11	9	1
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	1	1	0	0	0
Santa Perpetua de la Mogoda	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	40	26	26	17	1
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	0	0	0	0	0

Tabla 17.- Volumen de usuarios atraídos al ferrocarril desde el coche como consecuencia de la Actuación 1

En resumen, y convirtiendo el número de usuarios en número de vehículos que accederán al aparcamiento disuasorio, el resultado de la primera actuación propuesta es el siguiente:

	Usuarios	Coches
Atracción sobre R2	185	152
Atracción sobre R8	2	2
		<b>153</b>

Tabla 18.- Tabla resumen mostrando la atracción generada por la Actuación 1

Se observa como una gran cantidad de usuarios, 185, se aprovechan de la eficiencia de la R2 en hora punta en comparación con el vehículo privado y los problemas de congestión consecuentes. No obstante, las grandes deficiencias en el servicio de cercanías de la R8 hacen que los tiempos de viaje aún no sean para nada competitivos generando una atracción residual al ferrocarril, 2 usuarios.

### 7.5.1.5 Estimación de la demanda atraída del transporte público

Recuérdese que antes de la puesta a punto de la Actuación 1, es decir, en el escenario actual, existe un porcentaje de residentes en los tres municipios analizados que hace uso de los servicios de autobús para acceder al Barcelonés o al Vallés Occidental (véase la Tabla 6.- Reparto modal actual entre los municipios de estudio y los principales focos de demanda del Vallés Occidental y la Tabla 8.- Reparto modal actual entre los municipios de estudio y los principales focos de demanda de Barcelona).

Estos usuarios se dividieron en dos grupos, aquellos que hacían uso del autobús a pesar de tener vehículo privado (y que se supuso igual a un 20% del total) y aquellos que hacían uso del transporte público porque no tenían otro modo posible (el 80% restante).

Se supone, que con esta actuación, los usuarios del primer grupo serán totalmente atraídos por el vehículo privado, ya que los tiempos de viaje en ferrocarril son notablemente mejores que en autobús. Al igual que con el vehículo privado, se supone que este equilibrio solo ocurre en la hora pico, fuera de esta, cualquier usuario que tenga vehículo accederá a su destino utilizando el coche.

Así pues el número de usuarios atraído del autobús es el siguiente:

	Atracción de usuarios autobús (personas)				
	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
Caldes de Montbui	1	2	1	2	1
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	6	0	0	3	0
Palau Solità i Plegamans	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	1	2	3	3	1
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	2	0	0	2	0
Santa Perpetua de la Mogoda	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	2	3	4	3	1
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	5	0	0	1	0

Tabla 19.- Volumen de usuarios atraídos al ferrocarril desde el autobús como consecuencia de la Actuación 1

En resumen, la atracción generada sobre el autobús es:

	Usuarios	Coches
Atracción sobre R2	30	25
Atracción sobre R8	19	16
		<b>41</b>

Tabla 20.- Atracción generada por la Actuación 1 sobre el autobús

## 7.5.2 Mejoras en los niveles de servicio de RENFE cercanías

### 7.5.2.1 Descripción

En esta segunda actuación vamos a considerar mejoras en la frecuencia de trenes de cercanías. El objetivo no es generar grandes atracciones de demanda sobre la R2, a pesar de que también se analizará un escenario con mejoras en la frecuencia, sino analizar si los tiempos de viaje de la R8 pueden convertirse en unos más atractivos para el usuario con destino el Vallés Occidental.

Por un lado, supongamos que el servicio de la R2 puede mejorarse pasando de un intervalo de trenes actual de 10 minutos a 6 minutos. A pesar de tener dificultades de aplicación en la actualidad, debido a que la R2 sufre problemas de congestión a la entrada de los túneles, supóngase posible para el presente estudio. Esto generaría para todos los usuarios de esta línea una reducción en el tiempo de viaje de 2 minutos, ya que la esperanza del tiempo de espera a un tren pasaría de 5 a 3 minutos.

Por otro lado, se actuará sobre la R8 con una mejora sustancialmente atractiva que se traducirá en frecuencias en hora punta de 10 minutos. De esta forma, el tiempo de espera medio pasa a ser de 5 minutos, mejorando claramente a los 15 actuales.

	Actual	Actuación 2
Frecuencia R2 (min)	5	3
Frecuencia R8 (min)	15	5

Tabla 21.- Principios de la Actuación 2, aumento de la frecuencia de trenes

Es importante recordar que el análisis de cada actuación se realiza de forma independiente, es decir, se supone que los accesos descritos en la Actuación 1 no se tienen en cuenta para el presente estudio. Es por ello, que en este apartado no se espera observar un gran aumento de la demanda en las poblaciones que siguen el corredor de la C-59 pero sí que se pretende observar el comportamiento de las zonas donde actualmente ya hay cobertura.

Más adelante, se tratará la creación de un Plan de Actuación que tenga en cuenta todo el conjunto de actuaciones descritas. No obstante, debe analizarse ahora el comportamiento individual de cada una de ellas.



### 7.5.2.2 Nuevos tiempo de viaje tras actuación 2

Como se ha comentado, únicamente se tendrá en cuenta para esta actuación las mejoras producidas sobre los municipios a los que actualmente se proporciona una cobertura viaria correcta, despreciando así los municipios de interés de la C-59. A pesar de que esta medida aporta grandes mejoras a estos municipios, al analizar individualmente cada actuación, se mantienen para estos los altos costes de acceso que penalizan el modo ferroviario, impidiendo así atraer usuarios del vehículo privado al transporte público.

Bajo estas circunstancias, analícese la atracción generada sobre el resto de municipios observando primeramente la variación en los tiempos de viaje:

		Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
<b>Martorelles</b>	Veh. Privado	27.01	34.27	44.13	49.05	37.94
	Cercanías RENFE	20.00	28.00	32.00	36.00	46.00
	Comparativa	-26%	-18%	-27%	-27%	21%
<b>Sant Fost de Campsentelles</b>	Veh. Privado	27.52	34.78	44.64	49.56	38.45
	Cercanías RENFE	21.00	29.00	33.00	37.00	47.00
	Comparativa	-24%	-17%	-26%	-25%	22%
<b>Santa María de Martorelles</b>	Veh. Privado	29.85	37.11	46.97	51.89	40.78
	Cercanías RENFE	25.00	33.00	37.00	41.00	51.00
	Comparativa	-16%	-11%	-21%	-21%	25%
<b>Mollet</b>	Veh. Privado	25.16	32.42	42.90	47.20	36.06
	Cercanías RENFE	20.00	28.00	32.00	36.00	46.00
	Comparativa	-21%	-14%	-25%	-24%	28%

Tabla 22.- Nuevos tiempos de viaje en las relaciones con el Barcelonés (Actuación 2)

		Cerdañola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
<b>Martorelles</b>	Veh. Privado	23.57	30.49	36.41	25.45	47.23
	Cercanías RENFE	18.00	44.00	54.00	23.00	42.00
	Comparativa	-24%	44%	48%	-10%	-11%
<b>Sant Fost de Campsentelles</b>	Veh. Privado	24.08	31.04	36.98	25.96	47.74
	Cercanías RENFE	19.00	45.00	55.00	24.00	43.00
	Comparativa	-21%	45%	49%	-8%	-10%
<b>Santa María de Martorelles</b>	Veh. Privado	26.41	33.61	39.55	28.29	50.07
	Cercanías RENFE	23.00	49.00	59.00	28.00	47.00
	Comparativa	-13%	46%	49%	-1%	-6%
<b>Mollet</b>	Veh. Privado	20.53	27.11	32.98	22.41	44.19
	Cercanías RENFE	18.00	44.00	54.00	23.00	42.00
	Comparativa	-12%	62%	64%	3%	-5%

Tabla 23.- Nuevos tiempos de viaje en las relaciones con el Vallés Occidental (Actuación 2)

La reducción de la frecuencia en la R2 mejora ligeramente los tiempos totales en ferrocarril, llegando en algunas conexiones a reducciones del tiempo de hasta el 30% con respecto al vehículo privado bajo condiciones de congestión. Únicamente la relación con la zona universitaria de Barcelona y alrededores persiste con tiempos substancialmente peores debido a la mala cobertura existente, impidiendo así atracción sobre los viajes con destino a esta zona.

Con respecto a la R8 y la cobertura con el Vallés Occidental, véase la gran reducción de tiempos generada en todo el corredor de la R8, Cerdanola, Sant Cugat y Martorell, llegando a materializar rebajas en los tiempos de viaje de más del 20% en las relaciones con Cerdanola.

No obstante, persisten las deficiencias en la relación Vallés Oriental/Sabadell - Terrassa debido a la falta de intermodalidad con estas ciudades haciendo uso de los servicios de cercanías RENFE.

#### 7.5.2.3 Estimación de la demanda atraída del vehículo privado

Represéntese a continuación los valores de las funciones de utilidad para cada una de las relaciones que se ven alteradas con esta actuación:

Utilidad ferrocarril (Actuación 2)					
Martorelles	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	-2.90	-3.24	-3.07	-3.04	-3.07
	Cerdanola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	-3.03	-4.83	-5.05	-3.71	-3.61
Sant Fost de Campsentelles	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	-3.89	-3.62	-3.98	-3.96	-3.46
	Cerdanola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	-3.05	-6.84	-7.04	-3.89	-3.75
Santa María de Martorelles	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	-3.64	-3.83	-3.49	-4.15	-3.67
	Cerdanola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	-4.00	-7.99	-8.20	-4.83	-4.46
Mollet	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	-2.53	-3.12	-2.54	-2.70	-2.53
	Cerdanola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	-2.99	-7.41	-6.69	-4.88	-3.99

Tabla 24.- Valores de utilidad del ferrocarril una vez aplicado el aumento de frecuencia en cada línea

	Utilidad coche (Actuación 2)				
Martorelles	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	-2.59	-2.33	-2.89	-2.72	-1.45
	Cerdañola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	-1.90	-1.07	-1.03	-1.46	-1.49
Sant Fost de Campsentelles	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	-2.51	-2.17	-2.40	-2.65	-1.69
	Cerdañola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	-1.71	-1.02	-0.99	-1.54	-1.58
Santa María de Martorelles	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	-2.30	-2.04	-2.28	-2.51	-1.62
	Cerdañola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	-2.35	-1.56	-1.52	-1.81	-2.16
Mollet	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	-2.55	-3.12	-2.98	-2.78	-1.74
	Cerdañola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	-1.75	-1.13	-0.81	-1.29	-2.05

Tabla 25.- Valores de utilidad del coche una vez aplicado el aumento de frecuencia en cada línea

Con estos valores de utilidad, el nuevo equilibrio de repartos modales es:

		Nuevo reparto modal (Equilibrio Actuación 2)				
Martorelles	R2	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	% tren	42.6%	30.4%	26.9%	21.4%	25.9%
	$\Delta_{\text{demanda}}$ tren	11.2%	6.7%	8.7%	7.3%	2.4%
	R8	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	% tren	22.4%	1.7%	1.3%	10.0%	10.1%
	$\Delta_{\text{demanda}}$ tren	21.0%	1.7%	1.3%	8.4%	7.4%
Sant Fost de Campsentelles	R2	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	% tren	16.8%	20.8%	15.4%	21.2%	10.7%
	$\Delta_{\text{demanda}}$ tren	7.3%	4.8%	5.8%	6.4%	2.4%
	R8	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	% tren	19.2%	0.2%	0.2%	9.8%	7.2%
	$\Delta_{\text{demanda}}$ tren	17.4%	0.2%	0.2%	7.7%	7.2%
Santa María de Martorelles	R2	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	% tren	8.9%	8.3%	14.4%	15.4%	5.8%
	$\Delta_{\text{demanda}}$ tren	6.1%	3.5%	5.4%	4.8%	1.8%
	R8	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	% tren	14.2%	0.1%	0.1%	3.9%	6.7%
	$\Delta_{\text{demanda}}$ tren	14.2%	0.1%	0.1%	3.9%	6.7%
Mollet	R2	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	% tren	51.2%	49.9%	60.4%	51.7%	41.9%
	$\Delta_{\text{demanda}}$ tren	11.4%	10.9%	7.8%	7.0%	3.4%
	R8	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	% tren	21.7%	0.2%	0.2%	2.7%	9.0%
	$\Delta_{\text{demanda}}$ tren	19.5%	0.2%	0.2%	1.9%	9.0%

Tabla 26.- Reparto modal tras actuación 2 y atracción generada sobre el vehículo privado

Véase como el impacto generado por la presente mejora en los niveles de servicio de cercanías implica un importante aumento en la demanda hacía la R8, como consecuencia de la importante reducción en los tiempos de viaje de esta línea con destino a Cerdañola, Sant Cugat y Martorell.

También, aunque en menor grado, existen notables mejoras en la relación con Barcelona, llegando a atraer, únicamente aplicando esta actuación, hasta un 10% de la demanda producida en vehículo privado durante la hora pico.

Numéricamente, la atracción generada es la siguiente:

Atracción de usuarios					
Martorelles	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	2	1	1	1	0
	Cerdañola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	1	0	0	1	0
Sant Fost de Campsentelles	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	2	1	1	1	0
	Cerdañola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	1	0	0	0	0
Santa María de Martorelles	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	1	1	1	0	0
	Cerdañola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	1	0	0	0	0
Mollet	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	9	11	8	5	2
	Cerdañola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	12	0	0	1	0

Tabla 27.- Volumen de usuarios atraídos al ferrocarril desde el coche como consecuencia de la Actuación 2

	Usuarios	Coches
Atracción sobre R2	48	39
Atracción sobre R8	17	14
		<b>53</b>

Tabla 28.- Tabla resumen mostrando la atracción generada por la Actuación 2

Los resultados pueden ser reproducibles para las poblaciones que siguen el corredor de la C-59 una vez mejorados los accesos. Comprobación en el Plan de Actuaciones

### 7.5.3 Mejoras en la infraestructura viaria e instalaciones

#### 7.5.3.1 Descripción

Véase en los apartados anteriores como la relación Vallés Oriental/Sabadell-Terrassa es la única que se mantiene sin generar ningún tipo de atracción sobre transporte público. Fácilmente puede observarse que esto se debe a los altos tiempos de viaje que conlleva realizar esta ruta en ferrocarril, debido principalmente a la falta de conexión directa (e incluso semi-directa) entre zonas. Actualmente, para llegar a Sabadell desde Mollet haciendo uso únicamente de la red de cercanías, es necesario realizar dos transbordos; un primero en Cerdàñola Universidad, para pasar de la R8 a la R7 (con bajas frecuencias incluso en hora punta), y un segundo en Cerdàñola para enlazar con la R4 a partir de la R7.

En el presente apartado se pretende dar solución a este problema de movilidad existente, creando la posibilidad de realizar un transbordo en la R8 que conecte directamente con la R4. Con ello se ahorrarían grandes tiempos de viaje ya que se evitaría la necesidad de utilizar la R7, una línea que, al igual que la R8, es altamente deficiente en términos de frecuencia.

La actuación pues consistirá en la creación de un intercambiador en las estaciones de Mollet del Vallés y Cerdàñola Universidad, llamado intercambiador de Bellavista.

Un proyecto similar planteado en la actualidad es el de la creación de una nueva línea orbital<sup>7</sup>. El objetivo de este proyecto es la realización de una línea que rompa con la radialidad actual y que conecte directamente los municipios de Vilanova y la Geltrú, Martorell, Terrassa, Sabadell, Mollet, Granollers y Mataró entre muchos otros. Es decir, pretende dar cobertura directa entre las comarcas del Baix Llobregat, Vallés Occidental, Vallés Oriental e incluso el Maresme sin la necesidad de hacer ningún transbordo.

A continuación se relata el porqué de la decisión de realizar un intercambiador entre la R4 y la R8 en vez de la creación de una nueva línea, aparentemente, con un fuerte potencial de demanda.

---

<sup>7</sup> Proyecto definido en el Plan de Infraestructuras de Cataluña (PITC), pensado a largo plazo (2016), y también por el Plan de Transporte de Viajeros de Cataluña (PTVC), a corto plazo (2012)

### 7.5.3.2 Línea Orbital o Intercambiador

Tal y como se encuentra disponible en la web del Departamento de Sostenibilidad y Territorio de la Generalitat de Cataluña, la línea Orbital contribuye a redefinir la accesibilidad interna del área metropolitana de Barcelona y romperá la radialidad de la red ferroviaria actual interconectando las ciudades metropolitanas de la segunda corona. De esta forma existirá una conexión entre Vilanova y la Geltrú y Sitges con Mataró por el interior dando cobertura a una serie de municipios entre los que encontramos Villafranca del Penedés, Martorell, Terrassa, Sabadell y Granollers, entre otras.

La futura línea se configura con un eje de 120 kilómetros de longitud total, con tramos que aprovechan líneas existentes y 78 kilómetros de nueva construcción (60% túnel y 5% viaducto).

Las previsiones apuntan a que en el 2026 la nueva línea dará servicio a 96.000 viajeros/eras diarios, de manera que se contabilizarán 26.9 millones de pasajeros/eras año, de los cuales un 30% habrán sido captados del vehículo privado.

Económicamente, en las primeras estimaciones se prevé que la ejecución de este proyecto conlleve una inversión de 4.000 millones de euros, a cargo del ministerio de fomento de acuerdo con el plan de cercanías 2008-2015.

Dicha línea estaría distribuida de la siguiente forma:

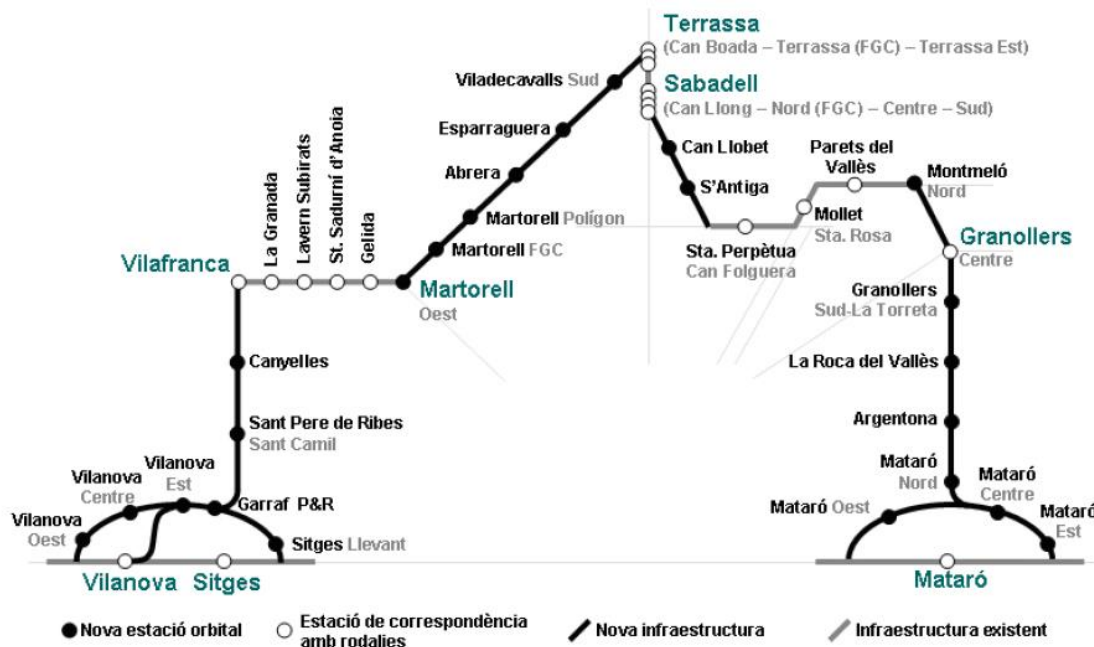


Imagen 45.- Trazado definido para la nueva línea orbital

A primera vista, los beneficios sociales que produce esta línea, como la rotura de la radialidad actual y la captación de demanda del vehículo privado, parecen motivos atractivos para llevar a cabo este proyecto semi-faraónico.

No obstante los costes económicos son abismales, produciendo una depreciación importante de la necesidad de esta línea. Además, siguiendo el plano mostrado anteriormente (Imagen 45.- Trazado definido para la nueva línea orbital), la realización de ésta produciría importantes déficits en la eficiencia de las líneas actuales. Por una parte, al aprovechar el trazado existente entre Terrassa y Sabadell incrementaría aún más la ocupación de la línea de la R4, generando la necesidad de ampliar la frecuencia entre trenes de una de las líneas más importantes de la red de cercanías. Análogamente, sucedería lo mismo con las líneas R3 y R8 aunque el impacto no sería tan importante ya que la frecuencia de estas líneas ya es baja. No obstante, para la R3, el hecho de que la vía no este desdoblada complica mucho más la posible coexistencia de dos líneas por el mismo trazado y aún más si somos conscientes del increíble coste que es necesario para el desdoblamiento de ésta.

De este análisis coste beneficio simplificado ha podido observarse la gran inversión económica necesaria que supone un proyecto de estas dimensiones. Más aún si se tiene en cuenta que en la actualidad ya existe un trazado orbital como el de la R8. La única deficiencia notable de este trazado es que no permite la comunicación directa con las poblaciones de Sabadell y Terrassa. No obstante, y tal y como proponen diferentes autores [14] [15], la creación de un intercambiador entre Barberá del Vallés y Cerdàñola, facilitaría la conexión entre el Vallés Oriental y el Baix Llobregat con las poblaciones de Sabadell y Terrassa. En el **Anexo 7** puede encontrarse un diseño planteado para este intercambiador.

Si realmente se considera este proyecto un proyecto necesario, es decir, debe realizarse un anillo que conecte todo el interior de la RMB, a continuación se muestra una propuesta propia que permita satisfacer las necesidades de la línea Orbital disminuyendo en gran medida los costes de inversión necesarios de ésta.

La propuesta destaca la necesidad de construcción de únicamente dos tramos (Zona 1 y Zona 2), el resto, aprovecharía el trazado existente de la R8, al cual se debería añadir un intercambiador entre las estaciones de Mollet y Cerdàñola Universidad, permitiendo la conectividad con las principales ciudades del Vallés Occidental.

Véase en la página siguiente el diseño propuesto:



Imagen 46.- Propuesta de ampliación de la R8 para satisfacer el proyecto de la línea Orbital

Sin querer profundizar más en este tema, ya que únicamente se enuncian propuestas para la mejora de la conectividad entre el Vallés Oriental y Sabadell y Terrassa, se considera que a efectos económicos y sociales la propuesta de un intercambiador de Bellavista es mejor que la creación de una línea Orbital con una inversión necesaria de 4.000 millones de euros.

Consecuentemente analícese los nuevos tiempos de viaje y la atracción generada en nuestra zona de estudio.

### 7.5.3.3 Nuevos tiempos de viaje tras actuación 3

Teniendo en cuenta que bajo las condiciones de servicio actuales, principalmente la baja frecuencia de trenes, la R8 es una línea utilizada únicamente por aquellos que no tienen otro modo de hacerlo, este análisis no se analizará de forma independiente, es decir, se tendrá en cuenta la actuación 2, donde en hora punta se reducían las frecuencias en 10 minutos.

De esta forma, los nuevos tiempos de viaje de los usuarios que actualmente hacen uso de la red (no tenemos en cuenta actuación 1 y por lo tanto despreciamos la demanda con origen en el corredor de la C-59) con destino Sabadell – Terrassa es:

		Sabadell	Terrassa
<b>Martorelles</b>	Veh. Privado	30,49	36,41
	Cercanías RENFE	26,00	32,00
	Comparativa	-15%	-12%
<b>Sant Fost de Campsentelles</b>	Veh. Privado	31,04	36,98
	Cercanías RENFE	27,00	33,00
	Comparativa	-13%	-11%
<b>Santa María de Martorelles</b>	Veh. Privado	33,61	39,55
	Cercanías RENFE	31,00	37,00
	Comparativa	-8%	-6%
<b>Mollet</b>	Veh. Privado	27,11	32,98
	Cercanías RENFE	26,00	32,00
	Comparativa	-4%	-3%

Tabla 29.- Nuevos tiempos de viaje en la relación Vallés Oriental/Sabadell-Terrassa

#### 7.5.3.4 Estimación de la demanda atraída del vehículo privado

Teniendo en cuenta la gran mejora en los tiempos de viaje mostrada en la tabla anterior, los nuevos valores deducidos de las funciones de utilidad para obtener el reparto modal generado en este nuevo equilibrio son:

	Utilidad ferrocarril		Utilidad coche	
	Sabadell	Terrassa	Sabadell	Terrassa
Martorelles	-2,88	-3,05	-1,80	-1,73
St. Fost de Campsentelles	-4,06	-4,19	-1,70	-1,65
Sta. María de Martorelles	-4,99	-5,09	-2,47	-2,43
Mollet	-4,29	-3,89	-1,92	-1,37

Tabla 30.- Valores de utilidad para cada modo una vez aplicada la actuación 3 (teniendo en cuenta la actuación 2)

Así pues, el nuevo equilibrio representa los siguientes repartos modales en hora punta:

		Nuevo reparto modal	
		Sabadell	Terrassa
Martorelles	% tren	24,8%	20,6%
	$\Delta_{\text{demanda tren}}$	24,8%	20,6%
Sant Fost de Campsentelles	% tren	8,6%	7,3%
	$\Delta_{\text{demanda tren}}$	8,6%	7,3%
Santa María de Martorelles	% tren	7,4%	6,5%
	$\Delta_{\text{demanda tren}}$	7,4%	6,5%
Mollet	% tren	8,5%	7,4%
	$\Delta_{\text{demanda tren}}$	8,5%	7,4%

Tabla 31.- Nuevo reparto modal tras actuación 3 (teniendo en cuenta la actuación 2)

Obsérvese el increíble aumento en el reparto modal en todas las relaciones analizadas, especialmente en la que ocurre entre Martorelles y Sabadell-Terrassa, donde anteriormente se pudo apreciar que la ruta con ferrocarril es casi un 20% más rápida que en vehículo privado.

En número de viajeros, estos repartos se traducen en los siguientes usuarios atraídos:

	Atracción de usuarios	
	Sabadell	Terrassa
Martorelles	4	1
Sant Fost de Campsentelles	1	0
Santa María de Martorelles	1	0
Mollet	13	4

Tabla 32.- Atracción de usuarios en hora punta debido a la creación del intercambiador de Bellavista

## 8. Ejecución de un Plan de Actuaciones

---

### 8.1 Objetivos

Analizadas individualmente el conjunto de actuaciones previstas sobre la red de cercanías de Barcelona, imagínese la potencialidad que estas podrían llegar a tener en conjunto. Especialmente, céntrese en la gran oportunidad que se tienen para atraer gran parte de usuarios del vehículo privado al transporte público durante el período pico de la mañana.

El objetivo del presente apartado es la generación de un plan de actuaciones que englobe el conjunto de mejoras mostradas independientemente en el capítulo anterior con tal de poder dimensionar de forma correcta la ampliación del actual aparcamiento disuasorio de Mollet Sant Fost.

Para poder llevar a cabo esto, deben suponerse varios aspectos. Primeramente deberá aceptarse que la red de cercanías acepta cualquier volumen de demanda asignado, asumiendo así que la capacidad de las líneas es infinita. Si bien es cierto con seguridad que la atracción generada sobre la R8 no va a causar problemas de ocupación de trenes, ya que actualmente la línea está muy por debajo de los límites de capacidad con demandas prácticamente residuales, no se tiene tanta certeza de que la R2 no llegue a superar la capacidad. No obstante, teniendo en cuenta que una de las actuaciones del Plan prevé una mejora en la frecuencia de trenes de la R2, se puede afirmar que estos problemas no llegarán a alcanzarse.

Otro de los aspectos a suponer, es el aumento de la confianza que los servicios de cercanías generan a los usuarios, especialmente aquellos que desean llegar en hora punta. Los usuarios del vehículo privado únicamente serán captados si se les ofrece un servicio de garantías que no les genere más imprevistos de los que les generaría el vehículo privado. Así pues, problemas continuados de impuntualidad, averías o cualquier otro tipo de incidencia deben ser rigurosamente sorteados.

## 8.2 Programa de actuaciones

Previamente a la realización de cualquier actuación, es importante recordar que el aparcamiento disuasorio de Mollet Sant Fost ya estaba muy por encima de la capacidad (véase Gráfico 7.- Evolución horaria de la demanda de entrada y salida del P&R). Es por ello, que primeramente deberá darse respuesta al conjunto de usuarios que no tienen acceso a las instalaciones.

Si suponemos que en la actualidad el usuario tiene información del estado del Park & Ride y puede conocer con seguridad si en él existen plazas libres o no antes de adentrarse, el número máximo diario de usuarios que no tienen acceso al estacionamiento es de 86 vehículos (105 usuarios). Así pues, antes de cualquier actuación se establece que existe un déficit de 86 plazas de aparcamiento que deberán de ser contabilizadas desde el propio principio.

Dicho esto, el Plan de Actuaciones viene integrado por las tres mejoras previstas anteriormente:

- **Mejora de los accesos viarios desde el corredor de la C-59:** individualmente la atracción generada por esta actuación suponía la creación de 194 nuevas plazas de aparcamiento en la estación de Mollet Sant Fost. Sin lugar a dudas, ésta generaba un fuerte impacto sobre las poblaciones que siguen el corredor de la C-59, no únicamente atrayendo gran parte de los usuarios que utilizan el vehículo privado, sino también atrayendo usuarios que actualmente acceden a su destino en autobús.

- **Mejoras en los niveles de servicio de las líneas R2 y R8:** teniendo en cuenta que esta mejora únicamente se evaluaba sobre las zonas que actualmente hacen uso del ferrocarril, un total de 53 plazas deberían ser dimensionadas si se produjese esta actuación en la red actual.

- **Creación del intercambiador de Bellavista como puente entre la R4 y la R8:** suponiendo un escenario inicial con frecuencias competitivas sobre la R8, 20 plazas deberían dar respuesta a esta actuación, todas ellas con usuarios que provienen exclusivamente de la zona que actualmente tiene acceso al ferrocarril.

Analizadas en conjunto, todas estas estimaciones de demanda pasan a un segundo plano, ya que la atracción total superará con creces cada uno de los valores mostrados.

## 8.3 Nuevos tiempos de viaje

### 8.3.1 Variación en la relación Vallés Oriental - Barcelonés

		Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
Caldes de Montbui	Veh. Privado	35,66	42,97	55,05	59,97	48,87
	Cercanías RENFE	27,50	35,50	39,50	43,50	53,50
	Comparativa	-23%	-17%	-28%	-27%	9%
Palau Solità i Plegamans	Veh. Privado	30,95	38,21	50,06	54,54	43,39
	Cercanías RENFE	22,30	30,30	34,30	38,30	48,30
	Comparativa	-28%	-21%	-31%	-30%	11%
Santa Perpetua de la Mogoda	Veh. Privado	25,24	32,50	42,98	47,28	36,14
	Cercanías RENFE	19,50	27,50	31,50	35,50	45,50
	Comparativa	-23%	-15%	-27%	-25%	26%
Martorelles	Veh. Privado	27,01	34,27	44,13	49,05	37,94
	Cercanías RENFE	20,00	28,00	32,00	36,00	46,00
	Comparativa	-26%	-18%	-27%	-27%	21%
Sant Fost de Campsentelles	Veh. Privado	27,52	34,78	44,64	49,56	38,45
	Cercanías RENFE	21,00	29,00	33,00	37,00	47,00
	Comparativa	-24%	-17%	-26%	-25%	22%
Santa María de Martorelles	Veh. Privado	29,85	37,11	46,97	51,89	40,78
	Cercanías RENFE	25,00	33,00	37,00	41,00	51,00
	Comparativa	-16%	-11%	-21%	-21%	25%
Mollet	Veh. Privado	25,16	32,42	42,90	47,20	36,06
	Cercanías RENFE	20,00	28,00	32,00	36,00	46,00
	Comparativa	-21%	-14%	-25%	-24%	28%

Tabla 33.- Tiempos de viaje en la relación Vallés Oriental-Barcelonés tras la aplicación del Plan de Actuaciones

Recuérdese, que las actuaciones realizadas en la relación Vallés Oriental – Barcelonés únicamente afectan el tiempo de espera medio a la llegada del tren. Paralelamente, también se tienen en cuenta las mejoras en la accesibilidad al aparcamiento disuasorio de los municipios del corredor de la C-59.

Sobre estos últimos, véanse las mejoras substanciales en los tiempos de viaje, mostrando siempre tiempos en ferrocarril entre un 20 y un 30% más rápido que en vehículo privado. Gracias a esta importante rebaja, se espera una fuerte atracción de viajeros con origen en alguno de estos municipios, destacando a priori el éxito que supondría una mejora de los accesos de estos usuarios.

Destacar también para estas relaciones la importante atracción que se generará sobre el transporte público. Como ya se comentó en capítulos anteriores, si suponemos que el 20% de los usuarios del autobús poseen vehículo privado propio (y no hacen uso de él para acceder a Barcelona en hora punta), estos serán atraídos en su totalidad al ferrocarril, ya que podrán acceder al aparcamiento disuasorio con su vehículo de forma cómoda y rápida y realizar una rápida transferencia a los servicios de la R2.

En cuanto al resto, los municipios que ya tienen cobertura, la mejora a pesar de ser únicamente de dos minutos, incrementa aún más la eficiencia que esta línea muestra en comparación con el vehículo privado. Especialmente con las relaciones internas de Barcelona Sants y Plaza Catalunya donde el ferrocarril muestra claramente una mejora en accesibilidad en comparación con el coche.

Como punto negativo, se demuestra mediante la visualización de los destino al Campus Nord de la UPC, como el ferrocarril no puede vencer al vehículo privado en los destinos de Barcelona que actualmente están mal comunicados con transporte público. Puede trasladarse este problema a otras localizaciones como la Zona Franca, Sarriá-St. Gervasi o la Vía Olímpica.

Así pues se espera que los volúmenes de atracción del vehículo privado al transporte público sean notables en la relación Vallés Oriental – Barcelonés analizados los competitivos tiempos de viaje que ofrece el ferrocarril.



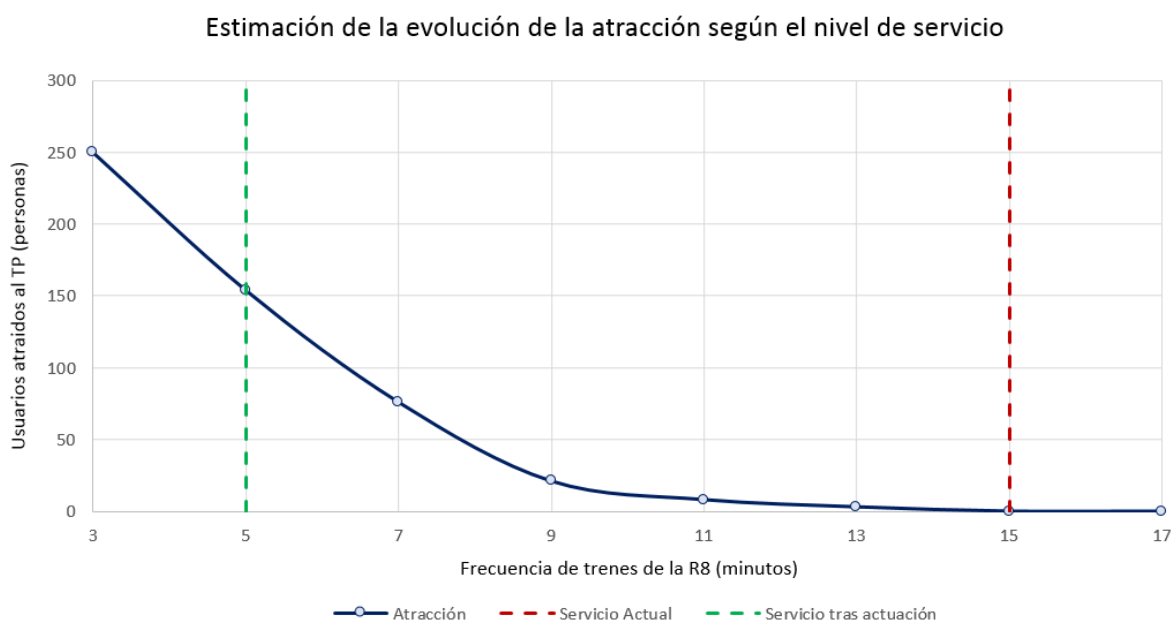
### 8.3.2 Variación en la relación Vallés Oriental – Vallés Occidental

		Cerdanola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
Caldes de Montbui	Veh. Privado	30,97	38,67	44,64	32,85	52,39
	Cercanías RENFE	25,50	33,50	39,50	30,50	49,50
	Comparativa	-18%	-13%	-12%	-7%	-6%
Palau Solità i Plegamans	Veh. Privado	21,11	27,76	33,73	22,99	42,25
	Cercanías RENFE	20,30	28,30	34,30	25,30	44,30
	Comparativa	-4%	2%	2%	10%	5%
Santa Perpetua de la Mogoda	Veh. Privado	20,61	27,19	33,06	22,49	43,36
	Cercanías RENFE	17,50	25,50	31,50	22,50	41,50
	Comparativa	-15%	-6%	-5%	0%	-4%
Martorelles	Veh. Privado	23,57	30,49	36,41	25,45	47,23
	Cercanías RENFE	18,00	26,00	32,00	23,00	42,00
	Comparativa	-24%	-15%	-12%	-10%	-11%
Sant Fost de Campsentelles	Veh. Privado	24,08	31,04	36,98	25,96	47,74
	Cercanías RENFE	19,00	27,00	33,00	24,00	43,00
	Comparativa	-21%	-13%	-11%	-8%	-10%
Santa María de Martorelles	Veh. Privado	26,41	33,61	39,55	28,29	50,07
	Cercanías RENFE	23,00	31,00	37,00	28,00	47,00
	Comparativa	-13%	-8%	-6%	-1%	-6%
Mollet	Veh. Privado	20,53	27,11	32,98	22,41	44,19
	Cercanías RENFE	18,00	26,00	32,00	23,00	42,00
	Comparativa	-12%	-4%	-3%	3%	-5%

Tabla 34.- Tiempos de viaje en la relación Vallés Oriental-Vallés Occidental tras la aplicación del Plan de Actuaciones

Si antes se consideraban buenas las mejoras en el servicio de la relación Vallés Oriental – Barcelonés, el conjunto de actuaciones realizado en la R8 pueden suponerse como excelentes. Si se observa la Tabla 7, donde se comparaban los tiempos actuales para cada modo entre los municipios del corredor de la C-59 y los puntos más demandados del Vallés Occidental, se puede ver como el ferrocarril no generaba ni una mínima atracción con los niveles de servicio actuales.

Ahora, la situación ha cambiado notablemente y en más de una relación el ferrocarril muestra tiempos de viaje un 20% más rápido que el coche. Especialmente, véase la mejora en los viajes con destino Sabadell y Terrassa. Cuando no existía intercambiador entre la R4 y la R8, los tiempos de viaje en ferrocarril duplicaban los tiempos en vehículo privado. Si bien es cierto que ahora también se tiene en cuenta una mejora en la frecuencia de paso de los trenes, con la aplicación del Plan de Actuaciones los tiempos totales de viaje en transporte público se vuelven inferiores que los tiempos en vehículo privado. No obstante, queda claro que el intercambiador de Bellavista no se puede concebir sin una notable mejora en los niveles de servicio de la línea R8, ya que, de no ser así, la atracción generada sería nula. Para demostrarlo, en el gráfico siguiente se muestra una estimación según el modelo MNL generado de la evolución de la demanda en la relación Sabadell-Terrassa según la frecuencia de trenes de la R8:



*Gráfico 9.- Estimación de la evolución de la atracción al ferrocarril en la relación Sabadell-Terrassa según el nivel de servicio prestado por la R8*

## 8.4 Reparto modal tras Plan de Actuaciones

### 8.4.1 Equilibrio en la relación Vallés Oriental – Barcelonés

		Nuevo reparto modal (Plan de Actuaciones)				
		Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
Caldes de Montbui	%inicial tren	0,4%	0,8%	0,4%	1,0%	0,4%
	%final tren	49,9%	44,1%	52,4%	44,9%	1,6%
	<b><math>\Delta</math>demanda tren</b>	<b>49,5%</b>	<b>43,3%</b>	<b>52,0%</b>	<b>43,8%</b>	<b>1,2%</b>
Palau Solità i Plegamans	%inicial tren	0,3%	0,7%	1,2%	1,2%	0,6%
	%final tren	52,3%	35,6%	37,9%	48,4%	2,5%
	<b><math>\Delta</math>demanda tren</b>	<b>51,9%</b>	<b>34,8%</b>	<b>36,7%</b>	<b>47,1%</b>	<b>1,9%</b>
Santa Perpetua de la Mogoda	%inicial tren	0,4%	0,8%	1,5%	1,7%	0,6%
	%final tren	58,0%	44,7%	60,3%	59,6%	1,9%
	<b><math>\Delta</math>demanda tren</b>	<b>57,6%</b>	<b>43,9%</b>	<b>58,8%</b>	<b>57,9%</b>	<b>1,3%</b>
Martorelles	%inicial tren	31,4%	23,7%	18,2%	14,1%	23,4%
	%final tren	42,3%	28,8%	45,6%	42,1%	23,6%
	<b><math>\Delta</math>demanda tren</b>	<b>11,0%</b>	<b>5,0%</b>	<b>27,4%</b>	<b>28,0%</b>	<b>0,2%</b>
Sant Fost de Campsentelles	%inicial tren	9,5%	16,0%	9,5%	14,8%	8,2%
	%final tren	20,1%	18,9%	17,1%	21,2%	10,5%
	<b><math>\Delta</math>demanda tren</b>	<b>10,6%</b>	<b>2,9%</b>	<b>7,6%</b>	<b>6,4%</b>	<b>4,3%</b>
Santa María de Martorelles	%inicial tren	12,9%	7,3%	16,5%	6,9%	6,6%
	%final tren	20,7%	14,3%	23,0%	16,3%	11,4%
	<b><math>\Delta</math>demanda tren</b>	<b>7,8%</b>	<b>6,9%</b>	<b>6,5%</b>	<b>9,4%</b>	<b>4,8%</b>
Mollet	%inicial tren	39,8%	39,0%	52,6%	44,7%	38,5%
	%final tren	50,5%	50,0%	60,8%	52,1%	39,1%
	<b><math>\Delta</math>demanda tren</b>	<b>10,7%</b>	<b>11,0%</b>	<b>8,2%</b>	<b>7,3%</b>	<b>0,6%</b>

Tabla 35.- Nueva distribución de repartos modales sobre la R2 tras la aplicación del Plan de Actuaciones

El éxito del Plan de Actuaciones en reducción de tiempos de viaje también se traslada en el nuevo reparto modal. En la Tabla 35 puede observarse como los nuevos repartos modales afirman el éxito que supone la aplicación de todas las actuaciones en conjunto. Especialmente sobre los municipios que siguen el corredor de la C-59, donde se consigue atraer una gran parte de usuarios del vehículo privado al ferrocarril, llegando en algunas ocasiones a apoderarse de hasta el 60% de los usuarios que acceden a Barcelona en hora punta, concretamente con destino a Plaza Cataluña y Sants, los lugares con menor accesibilidad en vehículo privado y mejor cobertura en transporte público.

Para el resto de municipios, el incremento de demanda sobre el ferrocarril es substancialmente menor tal y como se esperaba. Teniendo en cuenta que únicamente se ha disminuido en 2 minutos el tiempo de trayecto, la apreciación por los usuarios es prácticamente nula, aunque puede llegar a generar atracciones de hasta el 10%.

Destáquese de estos últimos municipios la evolución de la atracción de demanda en la relación Martorelles/Plaza Cataluña-Sants. Véase como a pesar de reducir en 2 minutos el tiempo de viaje, el reparto modal sufre una variación del 30% a favor del ferrocarril. Para explicar esto debe analizarse el reparto modal existente a día de hoy. Actualmente, el nivel de servicio de ferrocarril en esta relación es óptimo, con tiempos de viaje un 23% más rápido en transporte público. A pesar de ello, solo un 16% de media hace uso del ferrocarril en estas relaciones, siendo claramente desaprovechado. Según el modelo MNL generado, la potencialidad de la línea con origen en Martorelles es inmensa, por lo que pequeñas variaciones en los tiempos de viaje contribuyen a mayores incrementos en el reparto modal, tal y como se demuestra en la tabla anterior.

#### 8.4.2 Equilibrio en la relación Vallés Oriental – Vallés Occidental

		Nuevo reparto modal (Plan de Actuaciones)				
		Cerdañola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
Caldes de Montbui	%inicial tren	0,6%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%
	%final tren	28,8%	25,2%	23,4%	17,8%	11,9%
	<b><math>\Delta_{\text{demanda}}</math> tren</b>	<b>28,1%</b>	<b>25,2%</b>	<b>23,4%</b>	<b>17,3%</b>	<b>11,9%</b>
Palau Solità i Plegamans	%inicial tren	0,3%	0,0%	0,0%	0,5%	0,0%
	%final tren	13,9%	12,0%	12,4%	5,3%	4,2%
	<b><math>\Delta_{\text{demanda}}</math> tren</b>	<b>13,6%</b>	<b>12,0%</b>	<b>12,4%</b>	<b>4,8%</b>	<b>4,2%</b>
Santa Perpetua de la Mogoda	%inicial tren	0,6%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%
	%final tren	13,4%	19,7%	18,3%	5,8%	8,1%
	<b><math>\Delta_{\text{demanda}}</math> tren</b>	<b>12,9%</b>	<b>19,7%</b>	<b>18,3%</b>	<b>5,5%</b>	<b>8,1%</b>
Martorelles	%inicial tren	1,4%	0,0%	0,0%	1,6%	2,7%
	%final tren	24,5%	25,5%	21,1%	9,5%	10,7%
	<b><math>\Delta_{\text{demanda}}</math> tren</b>	<b>23,1%</b>	<b>25,5%</b>	<b>21,1%</b>	<b>8,0%</b>	<b>8,0%</b>
Sant Fost de Campsentelles	%inicial tren	1,8%	0,0%	0,0%	2,1%	0,0%
	%final tren	20,7%	8,6%	7,4%	8,7%	10,3%
	<b><math>\Delta_{\text{demanda}}</math> tren</b>	<b>18,9%</b>	<b>8,6%</b>	<b>7,4%</b>	<b>6,6%</b>	<b>10,3%</b>
Santa María de Martorelles	%inicial tren	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	%final tren	16,1%	7,4%	6,6%	4,7%	9,1%
	<b><math>\Delta_{\text{demanda}}</math> tren</b>	<b>16,1%</b>	<b>7,4%</b>	<b>6,6%</b>	<b>4,7%</b>	<b>9,1%</b>
Mollet	%inicial tren	2,1%	0,0%	0,0%	0,8%	0,0%
	%final tren	22,4%	8,5%	7,4%	2,7%	12,5%
	<b><math>\Delta_{\text{demanda}}</math> tren</b>	<b>20,3%</b>	<b>8,5%</b>	<b>7,4%</b>	<b>1,9%</b>	<b>12,5%</b>

Tabla 36.- Nueva distribución de repartos modales sobre la R8 tras la aplicación del Plan de Actuaciones

En cuanto el reparto modal sobre la R8, véase previamente el porcentaje que antes de las actuaciones poseía. En el mejor de los casos, los repartos modales en hora punta llegaban al 2%, reproduciendo así la clara deficiencia de la línea.

Tras el Plan de Actuaciones, en el cual se tiene en cuenta, a parte de la mejora de los accesos de los municipios de la C-59, una mejora en los niveles de servicio y la creación del intercambiador de Bellavista, el reparto modal muestra la mayor competitividad que ofrece el transporte público. De ser un modo residual elegido por aquellos que no tienen otra elección mejor, a conseguir captar hasta un 25% de la demanda en vehículo privado.

Sobre el eje de la R8, las atracciones principales se producen en los destinos de Cerdàñola Universidad. Teniendo en cuenta que es una ruta utilizada principalmente por estudiantes, se favoreció la atracción del ferrocarril en la calibración del modelo MNL, ya que es un modo que permite a los universitarios estudiar durante el trayecto y que les resulta más económico.

Caso contrario sucede con Sant Cugat del Vallés, donde el trabajador tipo con destino a esta ciudad se considera menos flexible a cambiar de modo. Además, los tiempos de ferrocarril no se consideran lo suficientemente atractivos, ya que la conexión viaria, vía AP-7 y B-30, no se encuentra lo suficientemente congestionada como para penalizar esta relación.

En cuanto a Martorell, el embudo producido a la altura del El Papiol en la bifurcación entre AP-7 y B-23 penaliza en exceso los viajes en vehículo privado, beneficiando el servicio del ferrocarril, que consigue atraer de media un 10% de los usuarios en vehículo privado al garantizar una ruta un 10% más rápida de media.

Finalmente, la conexión en ferrocarril entre el Vallés Oriental y las ciudades de Sabadell y Terrassa se garantizó al realizar el intercambiador de Bellavista entre Cerdàñola y Barberá del Vallés. Recuérdese como uno de los tramos más congestionados de la red de carreteras de la RMB en hora punta, era el tramo de la C-58 sentido Norte entre Sabadell y Terrassa. Al poder generar una ruta semi-directa entre nuestra zona de estudio y las capitales del Vallés Occidental con tiempos relativamente atractivos, el reparto modal atraído consigue llegar hasta el 25% en diferentes relaciones O/D.

## 8.5 Atracción generada sobre el vehículo privado

Si trasladamos el reparto modal obtenido anteriormente a números de viajeros atraídos por el transporte público, el resultado muestra el siguiente volumen de nuevos usuarios del tren:

	Atracción de usuarios				
	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
Caldes de Montbui	6	5	10	4	1
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	4	12	3	2	0
Palau Solità i Plegamans	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	24	12	15	10	1
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
Santa Perpetua de la Mogoda	6	20	5	1	0
	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	44	29	29	18	1
Martorelles	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	13	80	13	3	0
	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
Sant Fost de Campsentelles	3	2	2	2	0
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	2	3	1	1	0
Santa María de Martorelles	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	2	2	3	2	0
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
Mollet	1	1	0	0	0
	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	1	1	1	2	0
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	1	1	0	0	0
	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	8	10	7	4	2
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	11	12	3	1	0

Tabla 37.- Volumen de usuarios atraídos al tren desde el vehículo privado una vez aplicado el Plan de Actuaciones

En la tabla anterior únicamente se refleja la atracción generada sobre el vehículo privado. No obstante, se recuerda que para la actuación donde se mejoran los accesos a la estación desde el corredor de la C-59, también generaba atracción sobre ciertos usuarios que en la actualidad hacen uso del autobús para acceder a su destino. Suponiendo que



el 20% de estos usuarios tiene vehículo privado, se asume que el Plan de Actuaciones captará en su totalidad a este porcentaje, por lo que la atracción producida al autobús es la siguiente:

Atracción autobús en hora punta					
Caldes de Montbui	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	1	2	1	2	1
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	6	12	1	3	0
Palau Solità i Plegamans	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	1	2	3	3	1
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	2	7	1	2	0
Santa Perpetua de la Mogoda	Meridiana	Glorias	Cataluña	Sants	UPC
	2	3	4	3	1
	Cerdàñola	Sabadell	Terrassa	Sant Cugat	Martorell
	5	47	2	1	0

Tabla 38.-Volumen de usuarios atraídos desde el autobús al ferrocarril una vez aplicado el Plan de Actuaciones

En resumen, el total de usuarios atraído por el Plan de Actuaciones es el siguiente:

	Coche (usuarios)	Autobús (usuarios)	Total
Atraídos por la R2	263	29	292
Atraídos por la R8	200	88	288
			<b>580</b>

Tabla 39.- Resumen de la atracción generada por el Plan de Actuaciones

Puede concluirse que 580 usuarios se verían beneficiados por el Plan de Actuaciones generado en el presente estudio, la cual corresponde a 476 vehículos si suponemos que la ocupación media de estos es de 1,22 usuarios/coche.

Si se hace un análisis crítico de estos resultados generados del modelo MNL, se puede considerar que la atracción generada sobre la R2 puede tener cierta consistencia de aplicación con las características actuales de la red. No obstante, se debe ser más cauto con los resultados de atracción de la R8, ya que las actuaciones sobre esta han sido de un nivel de dificultad de aplicación mucho más elevado. Por un lado, el intervalo entre trenes de esta línea ahora es un 300% más eficiente. Por otro, la creación del intercambiador de Bellavista implica

## 8.6 Dimensionamiento del aparcamiento

### 8.6.1 Capacidad

Conocido el número de usuarios atraídos al aparcamiento disuasorio debido a la implementación Plan de Actuaciones se procede al dimensionamiento de la ampliación del Park & Ride.

Los 580 usuarios que acceden a la estación, se convierten en 476 coches según la ocupación media de vehículos utilizada en el presente proyecto. No obstante, debemos recordar que el aparcamiento disuasorio actual se encuentra por encima de la capacidad y se acordó que éste también debía dar cobertura a los 86 usuarios que se veían obligados a aparcar en las calles de acceso al P&R.

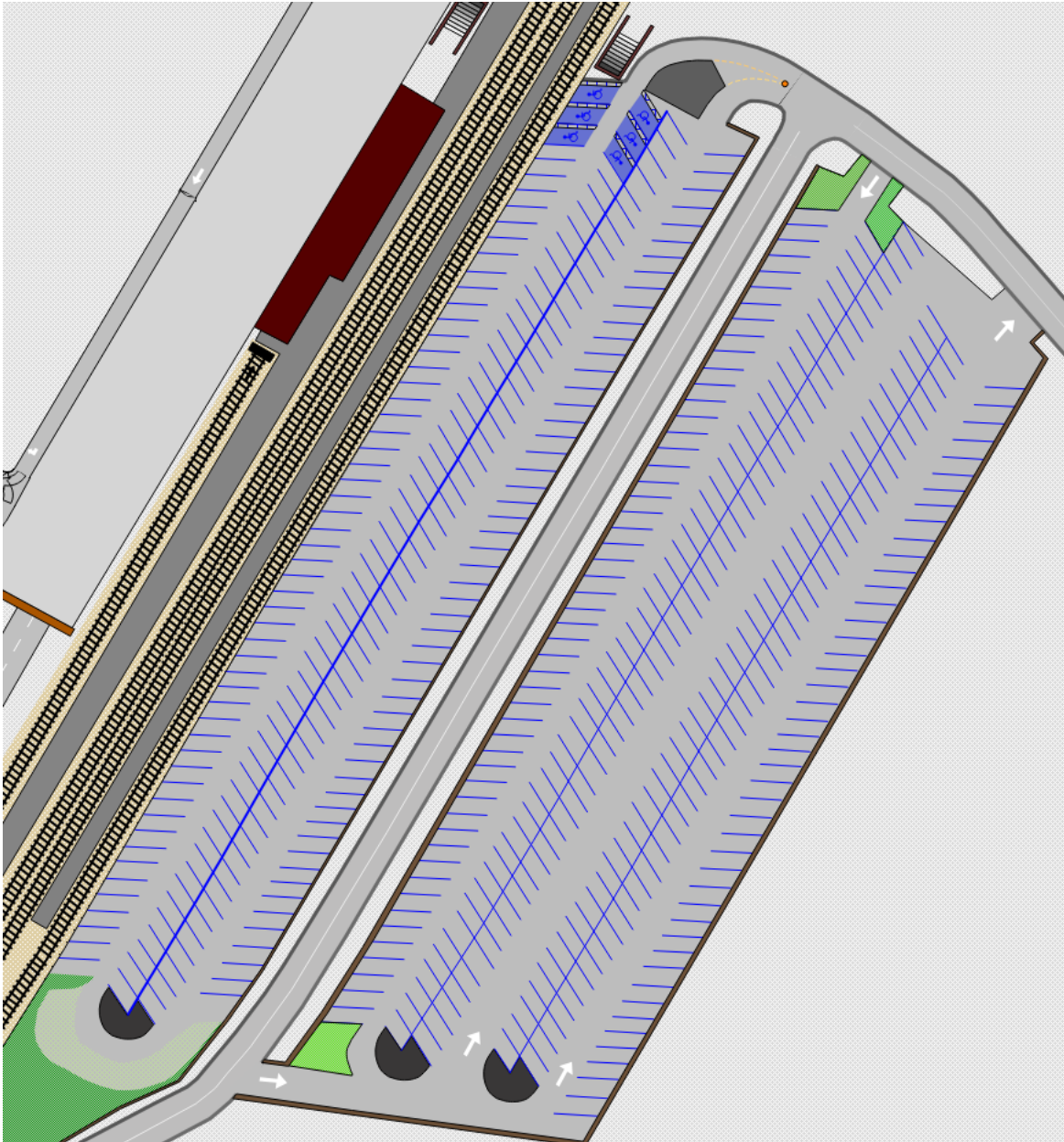
Es por ello que el aparcamiento, como mínimo, debe dar respuesta a 562 vehículos de más. Así pues, a las 230 plazas actuales deben añadirse estas, generando una capacidad total del aparcamiento disuasorio de Mollet Sant Fost de 792 plazas.

A parte, es crucial siempre tener en cuenta el porcentaje correcto de plazas para personas con movilidad reducida, permitiendo así la mejor cobertura posible para este tipo de usuarios. Según la normativa actual, para aparcamientos con 200 a 1.000 plazas de aparcamiento, debe existir una proporción mínima de 1/100 con plazas reservadas a discapacitados. Es por ello, que para nuestro aparcamiento, 8 plazas deberán estar reservadas para personas con movilidad reducida.

A continuación se establece el diseño utilizado para el aparcamiento disuasorio de Mollet Sant Fost. Otros diseños pueden ser válidos, simplemente se acepta ese al considerarse el más útil y el que optimiza el acceso a la estación a los usuarios.

### 8.6.2 Diseño adoptado

El diseño final adoptado de la ampliación del Park & Ride es el siguiente:



*Imagen 47.- Diseño establecido para la ampliación del P&R en la estación de Mollet Sant Fost*

A partir de esta herramienta, la microsimulación, puede observarse como el diseño muestra la aceptación de la demanda en los nuevos accesos y el correcto funcionamiento del aparcamiento disuasorio durante todo el día, especialmente durante el período de hora punta.

## 9. Conclusiones y trabajos futuros

---

### 9.1 Conclusiones

El objetivo principal del presente estudio consistía en demostrar la potencialidad que los Park & Ride tienen para combatir los problemas de congestión y mejorar la movilidad de determinados municipios. En este caso, el estudio se abordó analizando los desplazamientos con origen en el Vallés Oriental a través de la mejora del aparcamiento disuasorio en la estación de Mollet Sant Fost. Para ello, el análisis se soportaba sobre la generación de un modelo que permitiese reproducir la situación actual de la red de carreteras de la RMB, siendo la base de comparación para futuros escenarios basados en actuaciones que mejoren los niveles de servicio del transporte público.

Así pues, el primer objetivo del proyecto recaía en la necesidad de reproducir el estado de tráfico de la zona de estudio utilizando modelos de simulación macroscópicos. Tras un procedimiento de calibración, teniendo como referencia datos de Intensidades Medias Diarias de las principales autopistas del área de estudio, se consiguió ajustar la red de forma realista. El resultado, véase la Imagen 35, puede considerarse suficiente para el estudio ya que, a pesar de las limitaciones y el conjunto de hipótesis utilizadas, muestra un estado del tráfico representativo de la situación de congestión tipo.

Teniendo en cuenta que el mayor número de desplazamientos de conexión con origen en el Vallés Oriental se produce con destino Barcelona y las principales ciudades del Vallés Occidental, el modelo permitía representar los niveles de servicio que la red viaria actual ofrece a estos usuarios. El resultado mostró las grandes demoras que actualmente se sufren en estos desplazamientos en coche, especialmente en las relaciones de mayor dificultad de accesibilidad viaria de Barcelona, como Plaza Catalunya y Sants.

Por lo tanto, ante la situación negativa actual, se constató que los tiempos en ferrocarril podían mejorar notablemente los del coche si se garantizaba una buena cobertura en tren, mejorando no solo sus niveles de servicio si no también facilitando el acceso a la estación desde ciudades colindantes. Paralelamente, el Park & Ride que pretendía dar respuesta a esta atracción, se observó que estaba por encima de su propia capacidad, demostrando ya de por sí su notable uso en la actualidad, y la necesidad que este pueda ser ampliado para dar respuesta a los usuarios actuales y todos aquellos atraídos del vehículo privado.

Para ello, se definieron un conjunto de actuaciones que permitieran mejorar el servicio. Primordialmente, se analizó la mejora en la accesibilidad que proporcionaba una reforma de los accesos viarios a la estación. Los resultados de estos accesos constataron, véase la Tabla 18, la gran atracción generada sobre el vehículo privado, llegando a atraer hasta 153 usuarios al aparcamiento disuasorio. Al mismo tiempo, se demostró el trasvase de demanda del autobús al ferrocarril por parte de aquellos usuarios que en la actualidad poseen vehículo privado pero no hacen uso de él para acceder a Barcelona durante los períodos pico de demanda. En total se cuantificaron hasta 41 usuarios provenientes de las ciudades del corredor de la C-59, véase la Tabla 20.

Paralelamente, otra de las actuaciones propuestas destacadas era la de la creación del intercambiador de Bellavista. Éste tenía como objetivo mejorar la movilidad en ferrocarril desde el corredor del Vallés Oriental hasta las ciudades de Sabadell y Terrassa, permitiendo hacer una transferencia de la R8 a la R4. Se demostró como la eficiencia de esta actuación depende totalmente de mejoras en la red actual de la R8, ya que con las frecuencias actuales es imposible atraer a nadie al transporte público. En caso de mejorar los niveles de servicio de la línea que une el Vallés Oriental y el Occidental, esta actuación permitiría generar una gran atracción al ferrocarril, ya que la ruta por carretera en hora pico es una de las más congestionadas de la red estudiada.

Por lo tanto, con tal de agrupar todas las actuaciones propuestas, se definió la generación de un Plan de Actuaciones. Así, se analizaron de forma conjunta las mejoras en los niveles de servicio (mejorando la frecuencia tanto para la R2 como la R8), la creación del intercambiador de Bellavista y la mejora de los accesos para los usuarios provenientes de la C-59. Bajo este escenario, según el modelo MNL, la atracción generada resultó ser de 580 usuarios, un notable resultado que debe darse respuesta con la ampliación del aparcamiento necesario.

Ante este nuevo equilibrio de desplazamientos en hora punta, se dimensionó el nuevo aparcamiento disuasorio con tal de dar respuesta a todos los nuevos usuarios atraídos. Los 580 usuarios se transforman, según el ratio medio de ocupación del vehículo privado, a 476 vehículos. A parte, se debe dar respuesta a los coches que actualmente no tienen garantizada una plaza en el aparcamiento, la estimación reprodujo un total de 86 vehículos que aparcan diariamente en las calles próximas al aparcamiento. Así pues, se constata que con la aplicación del Plan de Actuaciones definido en el presente proyecto, el Park & Ride de Mollet Sant Fost debe dar respuesta a 562 vehículos nuevos, siendo así un aparcamiento disuasorio con capacidad total para 792 usuarios.

Mediante herramientas de microsimulación se constató la eficiencia del aparcamiento disuasorio, mostrando la aceptación de la demanda en los nuevos accesos y el correcto funcionamiento del aparcamiento disuasorio durante todo el día, especialmente durante el período de hora punta.

Culmínese el estudio afirmando el importante poder que tienen estos aparcamientos disuasorios para prevenir los problemas de congestión previos a las entradas de grandes ciudades.

## 9.2 Trabajos futuros

Acabado el estudio que demuestra los beneficios de la potencialización de los Park & Ride como solución a los problemas de congestión viaria en las entradas a Barcelona, se procede a enunciar un conjunto de ideas surgidas de este trabajo.

Para comenzar, la generación del modelo macroscópico permite trasladar este estudio a cualquier otra localización. Es decir, el modelo generado, al representar los flujos de todos los corredores de entrada a Barcelona y del conjunto de la RMB, admite obtener los tiempos de viaje desde cualquier ciudad, permitiendo realizar un análisis similar para cualquier otra población. Como consecuencia, el estudio puede abordarse sobre cualquier otro estacionamiento disuasorio, o sobre cualquier área que se considere que tiene potencial para convertirse en un Park & Ride.

Fuera de estudios modelísticos, podría estudiarse la posibilidad de la inclusión de una tarifa en el acceso al estacionamiento disuasorio y la afectación que ésta tendría en la atracción resultante de viajeros del vehículo privado. Esta tarificación, con tal de resultar menos incómoda para el usuario, podría estar integrada en un billete especial que incluyese tanto el coste por los servicios de transporte público de la ATM como el coste del uso del Park & Ride.

Por último, uno de los estudios más atractivos que podrían realizarse a partir de este proyecto sería analizar el posible escenario futuro de pricing en las entradas de Barcelona. Con tal de dar respuesta a una situación tan peculiar, deberían planificarse soluciones en transporte público que pudieran dar servicio al conjunto de usuarios que en la actualidad acceden a la ciudad condal en vehículo privado. Como se analizó en el presente estudio, los Park & Ride son actuaciones comúnmente utilizadas en las principales ciudades que adoptan políticas de pricing. Es por ello, que este mismo proyecto podría reproducirse ante un escenario de este nivel, permitiendo que el Park & Ride de Mollet ampliase sus dimensiones para acoger usuarios de ciudades que llegaran a partir de la C-33.

## 10. Referencias bibliográficas

---

- [1] RACC FUNDACIÓ (2007); “La congestión en los corredores de acceso a Barcelona”. Estudio de la fundación del Racc en el Noviembre del 2007.
- [2] DEPARTAMENT DE TERRITORI I SOSTENIBILITAT (2005); “Estudi de la Xarxa Ferroviària de viatgers a Catalunya”. Planejament Territorial de Catalunya. Generalitat de Catalunya.
- [3] BIGAS, J.; SASTRE, J. (2008); “El peaje urbano: aspectos clave para su estudio y aplicación”. Ponencia del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, España.
- [4] VERGÉ, M. (2015); “Experiències globals per dismiuir la congestió a les grans ciutats. Proposta d’aplicació a Barcelona”. Treball Final de Grau. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [5] MIRÓ, J. (2012); “Teoria de la assignatura Ordenació urbanística e Infraestructures dels Serveis Urbans”. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [6] FOREMAN, M. (2013); “Estudi i simulació mitjançant el programari Aimsun de la implementació d’un carril bus a l’avinguda Jaume I de Terrassa”. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [7] BURGHOUT, W. (2004); “Hybrid microscopic – mesoscopic traffic simulation”, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- [8] RATROUT, N. & MASIEUR, S. (2009); “A comparative analysis of currently used microscopic and macroscopic traffic simulation software”. The Arabian Journal for Science and Engineering, vol.34 nº1B.



- [9] HIDAS, P. (2005); "Modelling vehicle interactions in microscopic simulation of merging and weaving". School of Civil and Environmental Engineering, University of South Wales, Australia.
- [10] INZUNZA, G. (2008); "Implementación de un Algoritmo de Optimización basado en un modelo matemático del flujo del tránsito vehicular". Universidad Autónoma de Querétaro, Méjico.
- [11] TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS (2014); "Aimsun 8 User's Manual".
- [12] ATM (2008); "Estudi de dimensionament i localització dels aparcaments d'intercanvi modal en les xarxes ferroviàries interurbanes operades per RENFE rodalies i FFC".
- [13] CONTA PUNT. "Comença l'enderroc de la Tenería, que inclou la històrica nau de davant de l'estació de França". Novembre 2010.
- [14] LIZCANO, B. (2011) "Planeamiento y Definición de un nuevo diseño en la explotación de los Servicios de Cercanías de Barcelona. Actuaciones Necesarias, Fases de Implementación y Resultados esperados tras su puesta en servicio". Tesis Doctoral Universidad Politècnica de Catalunya.
- [15] MORENO, J. (2011); "Proyecto funcional para la construcción de un Intercambiador ferroviario entre las líneas R4 y R7 de Rodalías de Catalunya en el trayecto Barberà – Cerdanyola del Vallès". Universidad Politècnica de Catalunya.

# 11. Bibliografia complementaria

---

ATM (2014); Enquesta de Mobilitat en Dia Laborable, EMEF 2014. Autoritat del Transport Metropolità. Generalitat de Catalunya.

ATM (2007); Enquesta de Mobilitat Quotidiana de Catalunya, EMQ 2006. Autoritat del Transport Metropolità. Generalitat de Catalunya.

AJUNTAMENT DE BARCELONA (2014); Dades bàsiques de mobilitat 2013. Ajuntament de Barcelona.

WANG, Y. & PREVEDOUROS, P. (1996); Synopsis of Traffic Simulation Models. Department of Civil Engineering. University of Hawaii at Manoa.

MEDINA, S. & VELOZ, J. (2012); Guía de estrategias para la reducción del uso del auto en ciudades mexicanas. Instituto para Políticas de Transporte y Desarrollo.

JONES, S. & SULLIVAN, A. (2004); Traffic simulation software comparison study. University Transportation Center of Alabama, Birmingham, Alabama.

BOVER, P. (2012); Enhancing micro-simulation traffic models to predict emissions for Australian conditions. Universitat Politècnica de Catalunya.

INFRAS & IWW (2004); "External costs of transport". Update Study, Karlsruhe Institute of Technology

TSS – Transport Simulation Systems. Aimsun Travel Demand Modelling. Aimsun 8.1 User's Manual. TSS, Barcelona, 2015.

Institut d'Estadística de Catalunya (2009). Consultado en [www.idescat.cat](http://www.idescat.cat).

Institut Cartogràfic de Catalunya (2009). "Atlas Nacional de Catalunya v1.8", Consultado en [ww.icc.es](http://ww.icc.es).